Morphologie der Freiberge

(Berner Jura)

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Basel

von

Erich Schwabe

aus Basel

BASEL - DRUCK UND VERLAG ZBINDEN & HÜGIN - 1939

Morphologie der Freiberge

(Berner Jura)

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Basel

von

Erich Schwabe

aus Basel

BASEL - DRUCK UND VERLAG ZBINDEN & HÜGIN - 1939

Genehmigt von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren *P. Vosseler* und *Fr. Jaeger*.

Basel, den 27. Oktober 1938.

Prof. *M. Reinhard*, Dekan.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus den
„Mitteilungen der Geographisch-Ethnologischen Gesellschaft in Basel,"
Band V, Jahrgang 1935—38.

Vorwort.

Das untersuchte Gebiet der Freiberge verteilt sich auf die folgenden Kartenblätter des Siegfriedatlasses (1:25 000):

Bl. 90 Ocourt; Bl. 91 St. Ursanne; Bl. 100 Vautenaivre; Bl. 101 Saignelégier; Bl. 102 Montfaucon; Bl. 103 Undervelier; Bl. 104 Tramelan; Bl. 105 Tavannes; Bl. 114 Biaufond; Bl. 115 Les Bois; Bl. 116 La Ferrière; Bl. 117 St. Imier; Bl. 118 Courtelary; Bl. 119 Sonceboz. — Die Aufnahmen im Felde wurden zur Hauptsache im Sommer und Herbst 1937 vorgenommen. Im Geographischen Institut wurden die Beobachtungen verarbeitet.

Die Arbeit entstand auf Anregung meines hochgeschätzten Lehrers, Herrn Prof. Dr. P. Vosseler. Ich möchte die Gelegenheit benützen, ihm hier für das stete Interesse, die mannigfachen Ratschläge und die Hilfe, die er mir im Felde wie im Institut zuteil werden ließ, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Zu großem Dank verpflichtet bin ich auch Herrn Prof. A. Buxtorf, der mir die Benützung der Bibliothek des Geologischen Institutes in weitestgehendem Maße gestattete; ich verdanke ihm auch die Anregung zur Durchführung von Färbversuchen an versickernden Bächen; die geologische Anstalt stellte mir hiefür das nötige Fluorescein zur Verfügung.

Endlich danke ich Herrn Dr. A. Werenfels, welcher mir Einblick in seine noch unveröffentlichte Kartierung von Blatt St. Ursanne gewährte.

Basel, den 7. Juli 1938.

Einleitung.

Das untersuchte Gebiet, das dieser Arbeit zugrunde liegt, befindet sich am nordwestlichen Rande des Berner Jura; es ist die Hochfläche der Freiberge, in der die Höhenunterschiede zwischen Mulden und Ketten fast vollständig ausgeglichen sind. Um den Gegensatz zwischen dieser Rumpfebene, deren Untergrund aber doch intensiv gefaltet ist, und dem normalen Kettenjura mit seinen Längstälern, den hohen Bergrücken dazwischen und den eingeschnittenen Klusen scharf hervortreten zu lassen, habe ich die Grenze des Untersuchungsgebietes im Osten jenseits der Sorneklusen gelegt und die Westhälften der Mulden von Undervelier und Sornetan (sog. Petit Val) wie die Gegend von Tavannes und das Westende des Delsbergerbeckens mitberücksichtigt. Im Norden wurde das schweizerische Clos du Doubs miteinbezogen; die Nordgrenze fällt im wesentlichen mit dem in die Fläche der Freiberge ca. 500 m tief eingeschnittenen Doubstal und mit dem Zug der Lomont—Les Rangiers-Kette zusammen. Als westliche Begrenzungslinie schien die Transversalverschiebung von La Ferrière—Les Convers gegeben, weil die jenseits folgende Gegend von La Chaux-de-Fonds schon einen etwas andern Charakter als die Freiberge — etwas größere Höhendifferenzen — zeigt; als südliche nahm ich das Tal von St. Imier.

Das Delsbergerbecken und das von Süden her einmündende Quertal der Sorne mit der Gegend von Undervelier gehören dem Teil des Kettenjura an, an den man zuerst denkt, wenn man von den Jurafalten spricht. Von Norden nach Süden reihen sich abwechselnd die langgestreckten Kämme und Mulden aneinander; es ist ein andauerndes Auf und Ab mit Höhenunterschieden bis zu 600 m. Der geologische Bau erscheint, zumindest äußerlich, recht einfach: In den Mulden sind die relativ jungen Tertiärablagerungen erhalten geblieben; an ihren Rändern tauchen darunter die mächtigen Kalkplatten des Malms auf und ziehen sich, in ihrem Einfallen mehr oder weniger

dem Gefälle des Bergabhangs entsprechend, in die Höhe; oben biegen sie um oder sie brechen ab und lassen auf dem Scheitel ältere, tiefer liegende Gesteinsschichten wie die weichen Oxfordtone und den Kalk des Hauptrogensteins zum Vorschein kommen. — Die Entwässerung geht zunächst konsequent nach den Mulden; die Mulden indessen sind unter sich durch die allgemein bekannten und viel diskutierten Klusen verbunden, welche die Falten durchqueren und infolge des Wechsels von harten und weichen Gesteinen ihre charakteristische Ausgestaltung erfahren haben. Der Bau einer Antiklinale läßt sich nirgends so schön wie in einer Klus beobachten: Die beiden Eingänge sind in den harten, schroff, oft senkrecht aufstrebenden Malmkalken gelegen und sehr eng; nach innen tritt zuerst in den weichen Oxfordtonen eine Ausweitung, dann im Kern des Gewölbes in den mitteljurassischen Rogensteinkalken wieder eine Verengung ein. Die Kalkwände lassen sich dabei in einem Bogen hoch über dem Tal verfolgen; in der Mitte der Klus springen sie am weitesten zurück, weil die Abspülung und Ausräumung der sanfteren Hänge, die in den darunter gelegenen weichen Schichten entstanden sind, ihr Zurückwittern veranlaßt hat. — Am meisten aufgesucht werden die Birsklusen zwischen Moutier und Courrendlin, da sie an einem wichtigen Verkehrswege liegen und deshalb bequem erreichbar sind; fast noch schöner und typischer sind indessen die beiden Durchbrüche der Sorne, der „Pichoux" genannte durch die Raimeuxkette von der Mulde des Petit Val in die von Undervelier und der durch die Velleratkette von Undervelier ins Delsbergerbecken.

Verfolgen wir eine der Tertiärmulden nach Westen, so gelangen wir in zunächst sachtem, dann infolge des Talschlusses steilem Anstieg in die Höhe. In etwa 900—1000 m treten die Hänge zurück; das Landschaftsbild ändert sich vollkommen: Wir befinden uns auf einer leicht gewellten Hochfläche mit einer Reliefenergie von etwa 70—100 m. Die hohen Gewölberücken mit ihren Malmkalkgrätchen und ihren Oxfordkomben lassen sich zwar auch jetzt noch feststellen; sie ziehen sich in die Freiberge hinein fort. Was fehlt, sind die tiefen, von Tertiär erfüllten Muldentäler; sie sind zu Hochmulden geworden. Auf den ersten Blick scheint es, daß die Bäche nur noch keine Zeit gefunden haben, sich rückwärts in die Hoch-

ebene einzuschneiden; wir erkennen indessen bald, daß der Unterschied in der Faltung begründet ist. Die Falten sind bedeutend enger und greifen lange nicht so tief aus. Die Muldenkerne liegen höher; die Tertiärschichten sind größtenteils weggeräumt und kommen nur noch in kleinen Relikten vor. — Die Täler, die vom Birsgebiet her in die Freiberge eingreifen, sind in ihrer Ausgestaltung etwas verschieden voneinander. Das Tal des Tabeillon im Norden quert in seinem obern Teile schräg die Velleratkette und fällt dann mit einer zunächst engen Synklinale zusammen, die sich bald zum Delsbergerbecken weitet. Auch hydrographisch zeigt es, wenn auch aus anderer Ursache, zwei Abschnitte: Der Tabeillon entspringt etwa auf der Höhe von St. Brais in einem ausgesprochenen Talschluß; oberhalb setzt sich indessen ein Trockental bis zu einem zweiten Talschluß unweit Montfaucon fort; dort erst wird es von der Hochfläche übernommen. — Beim südlich folgenden Tal von Undervelier—Combe des Beusses sind die Verhältnisse klarer: Es handelt sich um ein einfaches Muldental, das sich oben im Talschluß nach Süden in die Raimeuxkette wendet und in deren Oxfordton eine letzte Ausweitung erfährt, bevor es ganz in der Hochfläche aufgeht. — Die Mulde des Petit Val wird nach Westen von einem aus ihr auftauchenden Gewölbe in zwei Teilmulden mit zwei entsprechenden Bächen gespalten; die eine setzt sich in die Hochmulde von Fornet fort; über die Talstufe der andern gelangt man ins Becken von Bellelay, das seinerseits wieder einen Talschluß bei Les Genevez aufweist. — Endlich ist als südlichste Talung noch das weite Becken von Tavannes mit seiner Fortsetzung Trame-aufwärts zu nennen.

Von einem erhöhten Standpunkt, etwa von den Prés de la Montagne nördlich Tramelan oder besonders vom Sonnenberg aus erhalten wir einen sehr guten Einblick in die Freiberge. Vor uns breitet sich ein weites Hochland mit sehr geringer Reliefenergie aus. Die etwas tiefer gelegenen Teile entsprechen meist den Mulden; ihre beidseitigen Abhänge steigen sehr sanft gegen die sie begleitenden Gewölbe an. Das Einfallen ist aber nicht gleich stark wie das der oft unter einer mehr oder weniger dicken Lehmdecke verborgenen Gesteinsschichten. Diese sind entsprechend dem Kofferfaltenbau sehr steil, zuweilen sogar senkrecht aufgerichtet und schneiden die oberflächlichen Ge-

hänge unter einem spitzen, manchmal fast unter einem rechten Winkel. Die Falten sind also „gekappt", was einer der Beweise dafür ist, daß es sich um eine alte Einebnungsfläche handelt. — Die Scheitel der Gewölbe sind sehr oft „aufgebrochen". An den Stellen der höchsten Aufwölbung der Antiklinalen sind durch die Erosion, durch die Abtragung des harten Malmmantels die darunter befindlichen weichen Oxfordtone freigelegt und ausgeräumt worden; vielfach sind auch noch die Doggermergel und -kalke aufgeschlossen. Der Malm bricht so nach der Innenseite der Ketten ab; in deren Kern sind die Oxfordtone zu „Komben" ausgeweitet worden, während die Rogensteinkalke, da, wo sie vorkommen, wieder eine kleine Erhebung — im Innersten der Antiklinale — bedingen.

Landschaftlich erhält das Gebiet den Hauptreiz durch seinen lockern Waldbestand. Die Waldbäume stehen in Gruppen beisammen und lassen dazwischen stets Platz für die Weide frei; dies führt zu einer ausgesprochenen Parklandschaft, wie sie in dieser Art sonst in der Schweiz kaum anzutreffen ist. — Der landwirtschaftliche Betrieb befaßt sich, da das rauhe Klima den Ackerbau stark einschränkt, wenn nicht unmöglich macht, vor allem mit der Viehzucht; die Pferderasse der Freiberge ist weitbekannt. Daneben ernährt sich die Bevölkerung von der Uhrenindustrie, welche heute auf die wenigen großen Dörfer der westlichen und südlichen Freiberge konzentriert ist. Diese Ortschaften, in besonders ausgesprochenem Maße Tramelan, weisen fast städtisches Gepräge auf; im Gegensatz dazu sind die Dörfer des Nordostteils des Gebiets wie Montfaucon, St. Brais, Saulcy etc. sozusagen reine Bauerndörfer geblieben. Im übrigen herrschen in der Besiedlung die Weiler und Einzelhöfe vor.

Einer der wesentlichsten Züge der Freiberge ist das Fehlen der oberirdischen Wasserläufe. Von Tramelan bis hinüber zum Doubs zeigt sich kein Bach; alles Wasser verschwindet durch Dolinen und Schlundlöcher im durchlässigen Kalk. Wir haben eine ausgeprägte Karstlandschaft vor uns. Die Mulden wie z. B. die von La Chaux d'Abel oder das Becken von Bellelay sind zu Poljen geworden; in den undurchlässigen Tonen, die in den Antiklinalen zum Vorschein kommen, haben sich zuweilen Seen gebildet, deren Abfluß, sobald er auf Kalkboden gelangt, versickert.

In starkem Gegensatz zu diesen alten Flächen erscheint das über 500 m tief eingeschnittene Doubstal mit seinen jugendlichen Erosionsformen. Es zieht sich bald parallel den Ketten, in einer Mulde im Kalk eingetieft, bald durchbricht es wie bei Goumois oder oberhalb St. Ursanne eine Falte in einer Art Klus, bald quert es sie schräg oder liegt seitlich in ihr, es bildet auch Mäander, kurz, es scheint ganz unbekümmert um die Struktur eingetieft zu sein. — Jenseits setzt sich die Hochfläche der Freiberge im Clos du Doubs und im Plateau von Maîche fort; im Bau sind diese Gegenden ungefähr gleich beschaffen; nur liegen sie etwas tiefer.

Es soll im folgenden versucht werden, das morphologische Bild dieses Gebiets genauer zu erfassen und zum Verständnis der Formen und ihrer Entwicklung zu gelangen.

Problemstellung.

Ueberblicken wir von einem der genannten Punkte aus die Freiberge, so drängen sich uns gleich Probleme auf. Vor allem fragen wir uns: Wie konnte hier eine so klar ausgebildete Rumpffläche entstehen? Versuchen wir, diese Frage zu beantworten, so erkennen wir bald, daß sie mit einer andern verknüpft ist, nämlich mit der Frage nach dem Alter der Rumpffläche. Zur Erklärung dieser Probleme wurden verschiedene Theorien aufgestellt. Die schweizerischen Forscher nehmen im allgemeinen an, die Fastebene sei im Sinne der Davis'schen Deutung (Lit. 25)[1]) rein durch die Arbeit des oberflächlich fließenden Wassers entstanden; der Karstcharakter der Freiberge habe sich erst nachträglich nach einer Hebung des Gebietes und nach dem damit verbundenen Einschneiden der Flüsse entwickelt. Demgegenüber fassen Gelehrte wie A. Hettner (Lit. 51) oder D. Jaranoff (Lit. 53) die Flächen als Karstverebnungen auf; sie glauben an Karstdenudation und sagen, die günstigsten Bedingungen dazu, nämlich fast horizontale Kalkschichten und ein wenig verstelltes Relief, seien auf den flachen Scheiteln der Kofferfalten gegeben; dort sei der Ausgangspunkt der Einebnung zu suchen. Auch F. Machatscheck (Lit. 65) spricht in seiner Arbeit über den „Schweizer Jura" der chemischen Lösung des Kalkes einen wesentlichen Anteil an der Nivellierung zu.

Bei der Altersfrage der Peneplain ging man wie bei der der Faltung bis jetzt meist von stratigraphischen und tektonischen Gesichtspunkten aus; man sollte indessen meiner Ansicht nach auch die morphologischen Tatsachen berücksichtigen, im Sinne eines Vergleichs mit etwa vorhandenen benachbarten Rumpfflächen, z. B. mit der der westlich gelegenen Franche Comté. In dieser Art geht Machatscheck vor: „Nur die geomorphologische Betrachtung auf dem Wege des Vergleichens der ver-

[1]) Die Zahlen beziehen sich auf die Angaben im Literaturverzeichnis.

schiedenen Formengebiete", so sagt er, „kann die Lösung näher bringen, weder die stratigraphische, da pliocaene geschichtete Ablagerungen fehlen (die miocaenen sind sowohl von der Faltung ergriffen als eingeebnet worden), noch die tektonische, da z. B. kompliziert und einfach gefaltete Gebiete gleichzeitigen Ursprung haben können, sobald nur die Bedingungen vor der Faltung verschiedene waren." Er geht von der Tatsache aus, daß man von Westen nach Osten in immer jüngere Gesteinsschichten und zugleich in immer höher gelegene Gegenden gelangt; daraus, daß die Abtragung im Westen einen mächtigeren Schichtkomplex zerstört hat als im Osten, schließt er, sie habe im Westen länger gedauert; die Faltung habe im Westen schon im obern Miocaen begonnen und sei langsam nach Osten fortgeschritten; die Einebnung sei ihr auf dem Fuße gefolgt, habe aber die östlichsten, jüngsten Ketten noch nicht erfassen können.

Im Gegensatz zu Machatscheck, der eine einzige, fortschreitende Faltung mit anschließender Einebnung annimmt, spricht Ed. Brückner (Lit. 11, 71) von zwei Faltungsphasen, wovon die erste am Schluß der Miocaenzeit das ganze Juragebiet ergriffen habe, während sich die zweite im obern Pliocaen außer in einer allgemeinen Hebung in einer nochmaligen Wellung nur der heutigen hohen Juraketten ausdrückte; in der Zwischenzeit sei die Peneplain entstanden, über die hinweg sich die Alpenflüsse nach Norden richteten, um in der Rheinebene den Sundgauschotter abzulagern. Mit Ausnahme dieser letzten Ansicht wurde die Brückner'sche Theorie von A. Buxtorf und seinen Schülern übernommen. Bei der Lösung der Altersfrage auf diesem Wege spielen verschiedene Flußgerölle eine wichtige Rolle; sie stammen aus den Vogesen und finden sich sowohl in den Mulden, z. B. im Delsbergerbecken, als auf den hohen Kämmen und in den Freibergen. Bei der Erklärung ihrer Entstehung werden zwei Standpunkte vertreten: Die einen nehmen eine einheitliche, pontische Ablagerung an; die andern sagen, man habe es mit zwei verschiedenaltrigen Bildungen im Tal und auf der Höhe zu tun. Ich werde auf diese Ansichten später zurückkommen.

Ein weiteres Problem, das sich uns stellt, ist hydrographischer Natur; es betrifft einmal die Anlage der Klusen durch

die Bäche und Flüsse und dann den eigenartigen Lauf des Doubs. Den Klusen wurde stets große Beachtung geschenkt; man teilte sie ein in solche, die ihre Entstehung der rückschreitenden Erosion eines Gewässers in einer Antiklinale verdanken (sog. recedente Klusen), und in sog. antecedente Durchbrüche, deren Bach schon vor dem Einschneiden an ihrer Stelle floß. Die beiden Klusen der Sorne, die uns hier interessieren, werden meist als antecedent angesehen, wenn auch einige Wissenschafter wie Machatscheck eher für Recedenz sind. — Mehreren Erklärungen rief die Frage des Doubstals mit seiner Umbiegung bei St. Ursanne. So nimmt Lapparent Drehungen oder Richtungsänderungen der Ketten an, wodurch die Schichten gegen die Angriffe der Erosion weniger widerstandsfähig geworden seien. Machatscheck glaubt, der obere Doubs sei einst in umgekehrtem Sinn von den Vogesen her über St. Ursanne—Pontarlier nach dem Aintal geflossen; infolge einer Hebung des Gebiets sei das damalige Mittelstück des Flusses vom Ober- und Unterlauf getrennt und bei St. Ursanne durch ein anderes Gewässer angezapft worden; zwischen Pontarlier und St. Ursanne fließe das Wasser jetzt nach NE[1]) statt wie einstmals nach SW. — Endlich leitet E. Fournier das alte obere Doubstal ins Delsbergerbecken hinüber; auch er spricht von einer späteren Anzapfung bei St. Ursanne.

Mit diesen besprochenen Hauptproblemen, zu denen sich als letztes noch die Frage nach der heutigen Ausgestaltung der Oberfläche der Freiberge (Verkarstung etc.) gesellt, möchte ich mich im folgenden weiter befassen und sie der Lösung näher führen. Vorerst sei mir aber gestattet, in großen Zügen ein Bild des geologischen Baus der Freiberge zu entwerfen.

---

[1]) N = Norden; E = Osten; S = Süden; W = Westen.

I. Geologie.

Die Geologie der Freiberge wurde schon in den klassischen, namentlich stratigraphischen Werken von J. Thurmann (Lit. 95), A. Greßly (Lit. 45), J. B. Greppin (Lit. 43) über den Berner Jura erforscht. Thurmann veröffentlichte bereits eine geologische Karte; von Greppin stammt die erste Auflage des Blattes VII der geologisch bearbeiteten Dufourkarte (1: 100 000). Großes leistete sodann vor allem L. Rollier (Lit. 73—81): Er gab in seinen drei Suppléments zur zweiten Auflage des Blattes VII der Dufourkarte eine genaue Schilderung der Schichtfolge und des Baus des Jura zwischen Doubs, Delsbergerbecken, Neuenburgersee und Weißenstein (1893, 1898, 1910). Außerdem nahm er das Gebiet auf der Grundlage des Siegfriedatlasses auf; es erschienen verschiedene Spezialkarten im Maßstab 1: 25 000, von denen ich die der Umgebung von St. Imier und die der Umgebung von Bellelay nennen möchte; sie geben schon ein recht gutes geologisches Bild, wenn auch Rollier einzelne Details des tektonischen Baus noch nicht ganz erfaßt hat und auch das Quartär ganz wegläßt.

In letzter Zeit wurden die Freiberge zum größten Teil neu bearbeitet. Zunächst waren es die deutschen Geologen W. Oertel (Lit. 70) und F. Schuh (Lit. 89), von denen der erste die Gegend von St. Brais und Saulcy, der zweite die von Saignelégier und Les Pommerats neu aufnahm. Dann ist vor allem A. Buxtorf (Lit. 13) zu nennen, der selbst das Clos du Doubs untersuchte und dessen Schüler M. Birkhäuser (Lit. 8), E. Forkert (Lit. 35), A. Glauser (Lit. 42) und W. Rothpletz (Lit. 82) die ganzen östlichen Freiberge kartierten. Gleichzeitig arbeiteten im westlich und südlich anschließenden Neuenburgerjura und Chasseralgebiet J. Favre (Lit. 28), H. Schardt (Lit. 84) und dessen Schüler H. Suter (Les Convers, Lit. 93), W. Jenny (Chasseral, Lit. 55) und W. Schürer (Gegend zwischen Biel und Tavannes, Lit. 90); die jüngste geologische Beschreibung ist die der Kartengebiete Les Bois und St. Imier von H. Suter (1936,

Lit. 94). — Die geologische Neuaufnahme sowohl der Freiberge als der benachbarten Landschaft ist also, wie wir sehen, zum größten Teil abgeschlossen (Tafel 1).

a) Stratigraphie.

Nach einer allgemein anerkannten Theorie von A. Buxtorf (Lit. 15) ist das Juragebirge eine gefaltete Abscherungsdecke auf der mächtigen plastischen Masse der Anhydritformation (mittlere Trias), die mit ihren Salzlinsen als Gleithorizont wirkte; der darunter liegende Wellenkalk, Buntsandstein etc. wurde von der Faltung gar nicht ergriffen. Tatsächlich stoßen wir im ganzen Kettenjura auf keine ältern Schichten als die Anhydritgruppe; in unserm speziellen Gebiet der Freiberge sind weder sie noch der hangende Hauptmuschelkalk, sondern erst der Keuper und der Lias an einer einzigen Stelle, bei Soubey im Doubstal, durch die Erosion freigelegt; in den weichen Mergeln und Gipstonen des Keupers entstand dort eine Talweitung, welche einen leichten Uebergang zum Clos du Doubs ermöglichte. Auch der Opalinuston und der untere Dogger, in dem Kalke und Mergel wechsellagern, sind nur an wenigen Punkten, z. B. bei Montmelon bei St. Ursanne aufgeschlossen und deshalb für uns von untergeordneter Bedeutung. Wichtiger ist der 100 bis 120 m mächtige Hauptrogenstein; er bildet mancherorts, z. B. am Hange des Doubstals bei Soubey, bei Montfavergier und in der Nähe von St. Ursanne und Montmelon, oder im Kern der Sorneklusen Felswände und baut die breiten Rücken der Montbovats südlich Pré Petitjean, der Prés de la Montagne nördlich Tramelan oder die Höhe von Saulcy und La Racine auf. Der hangende obere Dogger (ca. 50 m mächtig) teilt sich in die mergeligen Variansschichten und den charakteristischen Horizont der Dalle nacrée (Callovien), einen oolithischen, dünnplattigen Spatkalk, der beim Bau von Häusern, Weidmauern etc. Verwendung findet. Nach oben geht die Schichtfolge, in der ständig harte und weiche Gesteine wechseln, in den an Belemniten und kleinen Ammoniten reichen Oxfordton über; in ihm sind lange Komben, Isoklinaltälchen, ausgeräumt worden, die sich oft kilometerweit verfolgen lassen und die mit fetten Wiesen, auf der Hochfläche mit Weiden bedeckt sind. Seine Mächtigkeit kann stark schwanken, da er

als weiche Masse bei der Faltung leicht ausgequetscht und plastisch geformt werden konnte; im Durchschnitt beträgt sie im NE 70—80 m; nach SW zu nimmt sie rasch ab. Dort tritt mehr und mehr das ebenfalls weiche Argovien an die Stelle des Tons; es entspricht dem im NE Teil der Freiberge über dem Oxfordien folgenden massiven, dickbankigen Korallenkalk des Rauraciens, welcher grauverwitternde schroffe Flühe bildet, z. B. im Gebiet der Klusen, auf der Nordseite des Clos du Doubs, in der Umgebung von St. Brais, am Spiegelberg etc. Die Faciesgrenze zwischen Rauracien und Argovien zieht sich mitten durch unser Gebiet, vom Petit Val her über Lajoux in die Gegend von Le Noirmont und weiter südlich des Doubs bis gegen Biaufond, wo sie den Fluß überschreitet. Die die jurassische Gesteinsserie nach oben abschließenden Malmkalke sind im N um die ca. 90 m des Rauraciens mächtiger; sie gliedern sich sonst in das im untern Teil mergelige, im obersten Teil oolithische Sequan (100—120 m; Verenaoolith=Leithorizont), in das bankige Kimeridge (150 m), aus dem namentlich die Steilhänge der tiefen Talmulden im E und des Val de St. Imier bestehen, das aber auch am Aufbau der eigentlichen Freiberge stark beteiligt ist, und in die plattigen, weniger widerstandsfähigen Portlandkalke. — Die Kreide kommt nur in der Mulde von St. Imier vor. Baumberger (Lit. 5), dem eine ganze Reihe von Publikationen über die Kreide und besonders über das Tertiär des Jura zu verdanken ist, und Rollier nehmen an, sie sei ursprünglich auch in den Freibergen abgelagert, aber bereits in der langen Erosionsperiode des Eocaens wieder zerstört worden. Rollier (Lit. 78) gelang der Beweis: Er fand in einer Bohnerzgrube bei Le Fuet (Nordhang des Trametales, südlich Bellelay) aufgearbeitete Klötze von Valanginien und Hauterivien, die mit dem Neokom des Val de St. Imier genau übereinstimmen, außerdem Quarzkörner aus dem Gault.

Die Tertiärzeit begann mit einer Festlandsphase im Eocaen. Die Kalkflächen verkarsteten; als Verwitterungsprodukt bildete sich der bohnerzhaltige Boluston, der die Karrenschlote und -taschen anfüllte. Die ihm auflagernden Molassegesteine sind in zwei nach ihrer Entstehung scharf voneinander zu trennende Teile gegliedert. Die oligocaenen Bildungen hän-

gen mit der damals erfolgten Einsenkung des Rheintalgrabens zusammen; sie finden sich nur in dem Abschnitt des Jura, der südlich der oberrheinischen Senke liegt, d. h. in deren eigentlichen Verlängerung nach Süden. Es muß eine Zeitlang, während des mittleren bis obern Stampiens, eine Verbindung zwischen den beiden Sedimentationsbecken des Rheintales und des schweizerischen Mittellandes bestanden haben; Baumberger (Lit. 6) nannte sie die „Raurachische Senke". In ihrer Mitte ist die Mächtigkeit des Oligocaens viel größer als gegen den E- und W-Rand. — Das Miocaen, der zweite, höher liegende Teil der Molasse, ist ein Sediment des Tertiärbeckens des Mittellandes. Es transgrediert von Süden her auf das Oligocaen, zu beiden Seiten von dessen Ablagerungsgebiet aber auf die Jurakalke; dieser Umstand ist einer der Hauptbelege für die Annahme der Raurachischen Senke. — Ich möchte hier auf die Karte hinweisen, die die Ausbreitung der verschiedenen oligocaenen und miocaenen Horizonte erkennen läßt (Tafel 2a).

Das Unteroligocaen, das Sannoisien, ist mit den Gelberden und der Raitsche des Delsbergerbeckens und dem Süßwasserkalk von Moutier für uns kaum von Bedeutung. Ungleich wichtiger ist das Stampien, das mittlere Oligocaen. Es begann mit einer Meerestransgression von Norden her; zur Ablagerung gelangten teils die auch aus der Umgebung von Basel bekannten Septarientone, teils küstennahe, sandige oder konglomeratische Sedimente, der Meeressand bezw. der sog. Gompholite d'Ajoie. Die Faciesverteilung scheint, wie H. Liniger (Lit. 62) im Delsbergerbecken erkannt hat, mit den damals schon angelegten Querfalten zusammenzuhängen, die in NNE-SSW-Richtung, ungefähr parallel dem Verlauf der Raurachischen Senke, das Becken queren. Diese Rücken ragten im untern Stampien als flache Barrièren auf und schufen drei voneinander abgetrennte Sedimentationsbezirke für den Septarienton; auf ihnen selbst und in ihrer Umgebung bildeten sich die küstennahen Meeressande und Gompholite, die auch, wie beim Hügel Cras Franchier W Delsberg, ins tiefere Meer abgeschwemmt werden konnten. In den drei Teilen des Delsbergerbeckens liegt Ton; er nimmt sowohl gegen die beiden Querfalten als gegen den Süd-, West- und Ostrand (d. h. gegen die heutige Velleratkette, bei Bassecourt und Corban) an Mächtigkeit stark ab und geht in

die Sande und Konglomerate über, die ihrerseits nach W und E rasch auskeilen. Im Norden treffen wir in der Verlängerung der drei Zentralwannen Ton, in der der Querrücken Meeressand; die tiefern Meerbecken erstreckten sich also damals, im Gegensatz zum heutigen Delsbergertal, in NNE-SSW-Richtung. Ob nach Süden die ins Mittelland leitende Raurachische Senke schon im Unterstampien bestand, ist eine noch nicht vollkommen abgeklärte Frage; sie wurde aufgeworfen, als man in der subalpinen unterstampischen Molasse des Entlebuchs die genau gleiche Fischfauna wie im Rheintalgraben fand; Buxtorf und Fröhlicher (Lit. 18) nehmen an, marines Unterstampien sei möglicherweise auch südlich des Delsbergerbeckens quer durchs Mittelland abgesetzt, aber gleich darauf wieder weggeräumt worden, so daß jetzt jüngeres Stampien direkt auf den prästampischen Schichten liege. Ich lasse diesen Punkt noch offen und habe ihn auch auf der Karte nicht berücksichtigt, trotzdem nach den Untersuchungen von H. Liniger (Lit. 62) am Westhang der Querfalte von Develier und von W. Rothpletz (Lit. 82) zwischen Sornetan und Châtelat im Petit Val so gut wie feststeht, daß das Unterstampien, d. h. der Gompholite, gleich nach der wenn überhaupt dort erfolgten Ablagerung wieder zerstört worden sein muß, da das Mittelstampien auf dem Bolus aufruht. — Jedenfalls tritt küstenferner Septarienton südlich des Delsbergerbeckens nicht mehr auf, und auch der Gompholite findet sich nur im SW, in der Mulde von Undervelier (N Soulce) und, trotz dem Fehlen von Fossilien von Rothpletz als wahrscheinlich gleichaltrig angenommen, in der von Châtelat-Bellelay, dagegen nicht im Tal von Rebeuvelier noch in dem von Moutier. In einer Bucht muß das Meer im Petit Val und bei Bellelay in das Gebiet der heutigen Freiberge eingegriffen haben; nach Norden zog sich dann die Küste über Undervelier und Boécourt in die Ajoie. — In der Gegend von Tavannes und im Südschenkel der Mulde von Bellelay fand Rothpletz eine etwas andere Art des Gompholites als wie z. B. im Petit Val: Es handelt sich dort um Konglomerate, die stets mit konkretionären Süßwasserkalken und Süßwasserkalkkrusten verbunden sind; Rothpletz nennt sie „Gompholite pralinée“ und sieht sie als limnisch an. Die Küste muß demnach etwa in der Mitte des Tales von Bellelay gelegen haben. — Nach Westen setzt Rollier

(Lit. 76) die aus Geröllen des obern Malms bestehenden Konglomerate von Pré Petitjean bei Montfaucon und solche von Indevillers im westlichen, französischen Teil des Clos du Doubs dem ebenfalls zur Hauptsache aus Kimeridge-Geröllen zusammengesetzten Gompholite gleich; im ersten Fall möchte ich mich aber E. Forkert (Lit. 35) anschließen, der das Tertiär von Pré Petitjean als miocaen bezeichnet; im zweiten nimmt neuerdings P. Fallot Portland an. Die Freiberge waren im Unterstampien außer einer kleinen Ecke im SE Festland.

Mit dem Ende der Septarientonzeit zog sich das Meer nach Norden zurück. Es trat Aussüßung ein; die Bodensenkungen hielten aber, regional verschieden stark, an. Die Raurachische Depression bildete sich durchgehend aus; vom Süden, vom Mittelland her, drang alpines Material gegen die Rheinebene vor; es entstanden psammitische Sedimente mit großem Glimmergehalt, die sog. Molasse alsacienne. Sie füllten die ganze Senke aus, bedeckten auch die Querfalten, die fortan nicht mehr trennende Barrièren waren. Heute ist die Molasse alsacienne in all den tiefen Muldentälern des Berner Jura zu finden, bei Delsberg und bei Undervelier, bei Moutier und im ganzen obersten Längstal der Birs E Tavannes. Bei Tramelan und im Tal von St. Imier fehlt sie; die Westgrenze ihres Ablagerungsgebietes muß östlich davon gelegen haben.

Nach der Ausfüllung der Raurachischen Senke waren die Bedingungen für die Entstehung eines Süßwasserkalkes, des Delsbergerkalkes, gegeben. Im Norden, in der Gegend des Delsbergerbeckens, bildete sich über der Molasse alsacienne noch eine konkretionäre Zwischenschicht, die der pisolithischen Mergel, aus. Der Delsbergerkalk griff nach Osten wie nach Westen über das Verbreitungsgebiet der Glimmermolasse hinaus; er kommt, allerdings nur noch in sehr geringer Mächtigkeit, in der Mulde von Tramelan, bei St. Imier und sogar NW Lajoux in den Freibergen vor. Das eigentliche Hochplateau der Freiberge war indessen im obern Stampien, zur Zeit der Molasse alsacienne und des Delémontiens, so wenig überflutet wie im untern und so wenig wie in der darauf folgenden Aquitanien- und Burdigalienzeit. Im Aquitan lag auch die ursprüngliche, nun nicht mehr existierende Raurachische Senke, im Burdigalien, d. h. im untersten Miocaen, noch ihr nördlicher Teil trok-

ken; die Erosion machte sich in der Folge geltend und räumte im Delsbergerbecken den Delsbergerkalk zwischen Vicques und Courtételle und zwischen Bassecourt und Develier-Dessus fort.

Im Süden drang inzwischen das untermiocaene, burdigale Meer des schweizerischen Mittellandes in den heutigen Jura vor. Zur Ablagerung kam als wichtigstes Sediment der Muschelsandstein; er steht bei La Chaux-de-Fonds, im St. Imiertal bei Cortébert, und wieder in der Mulde von Tavannes, in der Forêt de Chaindon (Detailaufnahme siehe Rothpletz Lit. 82, S. 86 ff.), am Hügel La Motte E Tavannes, nördlich Bévilard und in der Umgebung von Court an. Bei Sorvilier und im Chaluet E Court ist er nur sekundär vorhanden, d. h. in großen Blöcken an der Basis der im Hangenden folgenden polygenen Nagelfluh des Helvetiens. Die Untersuchungen von E. Schlaich (Lit. 86) haben ergeben, daß sich Muschelsandstein und polygene Nagelfluh gegenseitig ausschließen; wo die Nagelfluh vorkommt, ist das Burdigalien stets vorher zerstört worden. Nach der Bildung des Muschelsandsteins zog sich das Meer, das kaum weit nördlich über die Mulden von St. Imier und von Tavannes-Court hinausreichte, wahrscheinlich zurück und stieß erst in der helvetischen Zeit wieder vor; in der dazwischen liegenden kurzen Festlandsperiode machten sich vermutlich orogenetische Vorgänge in Form einer leichten Faltung mit anschließender Einebnung bemerkbar; in der polygenen Nagelfluh finden sich nämlich außer den Muschelsandsteinblöcken auch Gerölle von Delémontien und Malmkalk, deren Vorhandensein bei der Annahme einer bloßen Aufarbeitung des Burdigaliens während der Entstehung der Nagelfluh nur schwer zu erklären wäre. — Die Transgression des helvetischen Meers ging viel weiter nach Norden als die burdigale Ueberflutung, bis ziemlich weit über das Delsbergerbecken hinaus. Daraus, daß das Helvétien bei Corban dem Delémontien, bei Mettemberg indessen dem Kimeridge aufliegt, glaubt Liniger wie Schlaich auf eine prähelvetische Hebung und Abtragung, in seinem Fall der Gegend von Mettemberg, schließen zu können. Im Süden, bei Sorvilier in der Mulde von Court, scheint die Nagelfluh in einer Rinne, im Chaluet eher flächenhaft abgelagert zu sein; bei Court und in der Umgebung von Tavannes, wo der Muschelsandstein nicht zerstört wurde, scheint sie primär zu fehlen; diese letzten Ge-

biete ragten vielleicht als Inseln aus dem an sich schon wenig tiefen Meere; es waren jedenfalls, wenn auch nicht sehr bedeutende Höhenunterschiede vorhanden; die Abtragung war noch nicht vollständig. Die Gerölle der südlichen Konglomeratbildungen (Sorvilier, Chaluet, Moutier) stammen vorwiegend aus den Alpen; nach Norden, z. B. schon im Aufschluß von Le Mentois bei Undervelier (Lit. 8), oder im Delsbergerbecken mischen sich mehr und mehr solche aus den Vogesen bei, die durch Flüsse hertransportiert worden sein müssen. Gegen Nordwesten fallen die typischen Gerölle der „bunten" Nagelfluh langsam überhaupt weg; bei Tramelan (Lit. 35, S. 13) geht die polygene Nagelfluh allmählich in eine vielleicht nur lokale reine Kalknagelfluh über. In den Freibergen, in den Aufschlüssen von La Chaux d'Abel (Lit. 94, S. 10) und von Plain de Seigne E Montfaucon (Lit. 42, S. 481), fehlen die Gerölle fast gänzlich; gegen den NW-Rand und auch zum Teil am N-Rand der Helvétien-Ueberflutung (bei Mettemberg) haben wir es mit einem Muschelagglomerat zu tun, einer ausgesprochenen Strandbildung, die der des Basler Tafeljura (Tennikerfluh) in allen Zügen entspricht.

Das obere Helvétien, das heute größtenteils erodiert ist, hatte wahrscheinlich eine ziemlich gleichmäßige Verbreitung; es liegt verschiedenen Molassesedimenten auf, der polygenen Nagelfluh wie dem Muschelsandstein oder dem Delsbergerkalk, und besteht aus einer Folge von Sanden und Sandsteinen, die einen langsamen Uebergang vom marinen in ein brackisches und schließlich in ein limnisches Regime zeigt. Die obersten Schichten gehören bereits dem Torton, d. h. dem obern Miocaen an. Dieses gliedert sich in einen Horizont von roten Mergeln und den charakteristischen Oehninger Süßwasserkalk, der die obersten Kuppen der Hügel des Golat bei Sorvilier und von Rainson bei Cortébert im Val de St. Imier aufbaut und der auch bei Le Locle und bei Tramelan ansteht. Wahrscheinlich hingen die Vorkommen einst zusammen; es handelte sich um einen großen Süßwassersee, der vom Mittelland her in die spätern südlichen Juratäler reichte und in welchem der Kalk entstand. Bei Tramelan (Lit. 35, S. 15) finden wir indessen lokal auch eine gleichaltrige Kalknagelfluh, die bezeugt, daß damals sich orogenetische Bewegungen bemerkbar machten; ihr dürften

die Konglomerate der Mulde von Pré Petitjean (Lit. 35, S. 19), die Rollier, wie schon gesagt wurde, als Gompholite d'Ajoie ansah, entsprechen, vielleicht auch die ebenfalls lokale Bildung des Gompholite pralinée von La Chaux-de-Fonds und Le Locle. In die Freiberge mag der Oehningersee einzelne Buchten gesandt haben, die jedoch, was die Sedimentation neuer Schichten anbelangt, von geringer Bedeutung waren. — Im Delsbergerbecken kamen anstatt des Oehningerkalkes im Obertorton rote Mergel und darauf Dinotheriensande aus den Vogesen zum Absatz; sie wurden durch Flüsse hergeschwemmt, die wohl wenig weiter südlich in den genannten See mündeten, und bilden die Unterlage des später abgerutschten Malmpaketes des Mont Chaibeux und der gleich zu besprechenden Schotter des Bois de Raube.

Die jüngsten tertiären Schichtglieder des schweizerischen Jura überhaupt stammen aus dem Pontien, dem untern Pliocaen; es sind die eingangs erwähnten Flußgerölle aus den Vogesen, die vor allem bei Charmoille in der Ajoie (Lit. 52, S. 26 ff.) als Schotter aufgeschlossen sind und deren Alter durch entsprechende Fossilfunde sicher nachgewiesen werden konnte. Lithologisch stimmen die Schotter des Bois de Raube im westlichen Delsbergerbecken mit ihnen vollständig überein und dürfen wohl auch als ihre Fortsetzung aufgefaßt werden; doch gelang es bis jetzt noch nicht, das bei Charmoille vorhandene Leitfossil des Pontiens, Hipparion gracile, darin aufzufinden. Kulm-Grauwacken, Porphyre und Granite, ferner Quarzite und Buntsandsteine setzen die Gerölle zur Hauptsache zusammen. — Wie schon gesagt, kommen neben diesen Ablagerungen in den Tälern solche auf den umliegenden Höhen vor; Liniger (Lit. 62) spricht von „Höhenschottern", obwohl es sich zum größten Teil nicht um direkte Schotteranhäufungen, sondern um einzelne Gerölle handelt, die mehr oder weniger zahlreich meist in einem gelbbraunen Lehm eingebettet sind. Die Gesteinsunterlage besteht in den meisten Fällen aus Malmkalk, aus Rauracien, Sequan und Kimeridge, nur zu kleinem Teil aus Tertiär und zu noch kleinerm (auf Haute Borne N Develier und bei Saulcy) aus Hauptrogenstein. Was die Herkunft dieser Gerölle anbelangt, so ist große Vorsicht am Platze. Interessanterweise fehlen nämlich alle kristallinen Komponenten wie auch die Grau-

wacken fast vollständig; es finden sich außer Buntsandsteinen nur Quarzite, die aber, vor allem in den Kimeridge- und Tertiärmulden, z. B. bei Montfaucon-Plain de Seigne oder bei Tramelan, gerade so gut freigewordene Bestandteile der polygenen Nagelfluh oder des Muschelagglomerats des Helvétiens sein können. Immerhin sind bestimmt postmiocaene Bildungen vorhanden; nach einem Fund von gänzlich verwitterten Porphyr- und Granitgeröllen faßt sie Liniger als „verarmte Bois de Raube-Schotter" auf, „in denen nur die widerstandsfähigsten Gesteine bis heute überliefert sind". Dieser Annahme, wonach also die „Höhenschotter", soweit sie nicht aus dem Helvétien stammen, ebenfalls pontisch sind, möchte auch ich mich anschließen, zumal es wenig wahrscheinlich ist, daß die Vogesenflüsse nach dem untern auch während des mittleren bis obern Pliocaens ihren Weg nach Süden gegen das Mittelland genommen haben. Nach Westen erstreckt sich die Verbreitung der Gerölle, wie die Karte (Tafel 2a) zeigt, nicht über die Gegend von Saignelégier hinaus; die Quarzite der Mulden von Chantereine und La Chaux d'Abel halte ich für helvetisch.

Die Beschreibung des Quartärs, der diluvialen und alluvialen Vorgänge und Bildungen, möchte ich einem spätern Abschnitt überlassen.

b) Tektonik.

Ein Blick auf die geologische Karte (Tafel 1) genügt, um zu erkennen, daß sich in den Freibergen wie in den Gebieten östlich und südwestlich davon Falte an Falte reiht. Die Streichrichtung geht im allgemeinen von SW nach NE und wird in der Gegend von Undervelier fast rein west-östlich; zuweilen lösen sich die Antiklinalen ab, d. h. eine untertauchende Falte wird durch eine neue ersetzt. Der Grundtypus des Baus einer Kette ist der der Kofferfalte: Die Schenkel stehen sehr steil, zuweilen senkrecht, während der Scheitel durchwegs flache Schichtlagerung zeigt. Vielfach treten Ueberschiebungen auf, hauptsächlich im Nordschenkel; auch Querverwerfungen kommen vor. Die beigelegte Strukturkarte (Tafel 3) gibt ein anschauliches tektonisches Bild; vor allem kommen die axialen Wellungen gut zur Geltung. Die Karte wurde auf Grund der Höhenlage der Auflagerungsfläche des Kimeridges erstellt; vor-

erst war es nötig, diese in den Querprofilen zu rekonstruieren; erst dann konnte die Lage der Isohypsen festgestellt und wiedergegeben werden.

Ein Schnitt etwa von Bremoncourt im untern (französischen) Doubstal hinüber nach Courtelary im Val de St. Imier (Tafel 4, Profil C) quert 8 Ketten und die dazwischen liegenden Mulden. Im Norden bauen zwei Antiklinalen das vom Doubs in seiner bekannten Schlinge umflossene Clos du Doubs auf; die wichtigere Clos du Doubs- oder Epiquerezkette wird zwischen Montmelon und St. Ursanne, mitten im Abtauchen begriffen, vom Fluß gekreuzt; die ihr südlich angelagerte Montmiroirkette löst sich bei Epauvillers nach Westen los und gewinnt erst auf französischem Boden größere Bedeutung. Am Nordschenkel des Hauptgewölbes ist erwähnenswert, daß hier A. Buxtorf (Lit. 13) ein sehr gutes Beispiel einer disharmonischen Faltung fand: Das Rauracien ist auf das Kimeridge überschoben; die Ueberschiebung macht sich indessen nur im Malm bemerkbar, der Doggerkern ist vollständig intakt geblieben; der Oxfordton ist ausgequetscht und muß als Gleithorizont gewirkt haben. Derartige disharmonische Faltungen sind im Faltenjura, auch in den Freibergen, nicht selten, sei es, daß wie im vorliegenden Fall der Dogger intakt und der Malm gebrochen ist oder umgekehrt. — Bei Soubey auf der Südseite des Clos du Doubs befinden wir uns im Kern der St. Braiskette, der vom Doubs hier angeschnitten und bis auf den Keuper erodiert ist. Die Antiklinale hat weiter westlich in der Gegend von Vautenaivre ziemlich komplizierten Bau: Der Nordschenkel ist stark auf die nördlich vorgelagerte Mulde überschoben und außerdem durch Querbrüche gegliedert (Lit. 89). Nach Süden folgt die Velleratkette, die sich von der Klus von Choindez über die Forges d'Undervelier und über Saulcy bis Montfaucon und Les Pommerats zieht; bei Goumois wird sie vom Doubstal gequert. Zwischen ihr und der Raimeuxkette dehnt sich die Mulde von Undervelier-Plain de Seigne-Pré Petitjean aus; sie wird zuweilen, z. B. südlich Saulcy (Closurekette) oder bei Saignelégier durch kurze Zwischengewölbe in zwei Aeste gespalten. — Die Raimeuxkette, in der im E die Klus von Pichoux liegt, ist in den Freibergen besonders schön südlich Pré Petitjean zu erkennen, wo ihr Rogensteinkern den Rücken von Les Montbovats

bildet; ihr Malm-Südschenkel ist dort stark gestört, rückgefaltet. Bei Les Emibois taucht sie nach W ab; an ihrer Stelle erhebt sich etwas nördlich die Spiegelbergantiklinale, welche sich, parallel dem heutigen Lauf des Doubs, gegen Biaufond zieht. — Ueber die Mulde von Fornet-La Theurre-Les Prailats, in der südwestlich Le Noirmont die beiden Moore von Chantereine und Les Barrières eingebettet sind, erreichen wir das langgestreckte Gewölbe von Pâturatte-Les Bois, welches bei Monible aus der Synklinale des Petit Val auftaucht und in dessen Oxfordkern sich die Weiher von Prédame und La Gruyère finden. In der Gegend von Le Creux des Biches und Le Boéchet (Lit. 94) wird es auf der Nordseite von der untergeordneten Nebenfalte von Peu Péquignot begleitet; vom Südschenkel spaltet sich dort nach E die Peuchapattekette ab, die östlich Les Breuleux endet. — Nach S folgen der große Muldenzug Petit Val-Bellelay-Le Cernil-La Chaux d'Abel mit den Mooren von La Chaux sur Breuleux (Lit. 35) und La Chaux d'Abel, dann im E die sich ablösenden Ketten des Moron und von Les Places und die Synklinale von Tavannes-Tramelan, welche nach W auskeilen, endlich die Falte des Sonnenberges oder der Montagne du Droit und das Tal von St. Imier. Das große Becken von Tavannes im E wird durch das Gewölbe von Orange gegliedert.

In dem Gebiet der Freiberge, vor allem nahe seinen Rändern, wurden auch Querstörungen beobachtet. Schon sehr lange bekannt ist die Transversalverschiebung von La Ferrière an der Westbegrenzung. Im Nordosten ist das auffallende Umbiegen der Streichrichtung der St. Braiskette zu nennen. Bei St. Brais zieht sich die Falte nach E, von Le Sceut weg indessen nordnordöstlich in gestrecktem Lauf gegen den eigentümlichen Gebirgsknoten von Caquerelle-Les Rangiers (Lit. 64). Zunächst geht die Kette des Clos du Doubs in ihr auf; dann stößt sie selbst auf die W-E streichende Les Rangierskette, welche ihrerseits wenig westl. mit der Mont Terri-Lomontkette verschmilzt, aber wahrscheinlich mit der Clairmont-Antiklinale bei St. Ursanne identisch ist. Die Mont Terrikette richtet sich gegen Asuel und setzt sich jenseits eines Querbruches, der sich in der Verlängerung der St. Brais-Caquerellekette befindet, in der Noirval-Buebergkette fort. — Dieses abweichende Streichen äußert sich auch weiter im NE in der Bürgerwaldkette; im

SSW erleiden darin, d. h. an der Kreuzungsstelle mit der Fortsetzung der Linie Caquerelle-Le Sceut, sowohl die Raimeuxkette (bei Les Sauces) als die Pâturattekette (bei Prédame) Störungen (Knickungen im Verlauf; Ablösen der Doggerkerne); in der Les Places-Kette treten nördl. Tramelan Querbrüche auf. Es liegt nahe, eine alte, rheintalische (variscische) Störungszone anzunehmen, die von der Freiburgerbucht her dem Westrand der Isteiner Vorberge entlang gegen die Bürgerwaldkette und zur Caquerelle verläuft und die die Anlage der Jurafalten stark beeinflußte. G. Steinmann (Lit. 92) erkannte sie bereits 1892 und nannte sie „Sundgaulinie"; seine Ansicht wurde von den meisten Autoren übernommen. Weniger vermochte dagegen die „Vogesenlinie" zu überzeugen, welche Steinmann als Westbegrenzung der ehemaligen Raurachischen Senke vermutete; durch die Untersuchungen van Werveke's (Lit. 100 bis 102) und Hummels (Lit. 52) im Sundgau und in der Ajoie wurde ihr Vorhandensein widerlegt. — Parallel der St. Brais-Caquerellekette ziehen die beiden Querfalten des Delsbergerbeckens, die, wie wir gesehen haben, schon im Unterstampien bestanden und sicher mit der Einsenkung des Rheintalgrabens in Beziehung zu bringen sind. Liniger konnte sie tektonisch nach beiden Seiten verfolgen und stets an den Knotenpunkten mit den jüngern Juraketten Achsenmaxima oder -minima, Faltenablösungen oder Knickungen etc. feststellen; er kam zur Annahme einer Gitterfaltung im Juragebirge (Lit. 63).

Anschließend möchte ich noch eine von F. Schuh (Lit. 89, S. 43) erläuterte hercynische Linie von Trévillers über Ferrières, Urtière, Les Emibois nach Le Roselet N Les Breuleux erwähnen. Sie erscheint mir recht unwahrscheinlich; die Störungen zwischen Ferrières, Urtière und Fessevillers (Ende der St. Brais- und der Velleratkette) können wie das eigenartige Verhalten, das nördliche Abbiegen des Kerns der Maîche-Montmiroirkette nördl. Fessevillers, auch mit einer eventuellen Verlängerung der Querbruchregion von Les Convers-La Ferrière in Zusammenhang gebracht werden; in dieselbe Zone würden auch der Keuperaufbruch und die Querverwerfungen bei Vaufrey im untern Doubstal fallen. Alb. Heim (Lit. 49/50) sieht die Transversalverschiebungen des Jura als reine Streckungsbrüche an, die durch das Ausbiegen der Juraketten während der Fal-

tung erzeugt worden sind; doch auch er erkennt, daß in den nördlichen Fortsetzungen derjenigen von Dôle-Champagnole und von Vallorbe-Pontarlier bei Salins und Mouthier starke Dislokationen vorkommen. Was den Bruch von Les Convers-La Ferrière anbelangt, so erscheint er H. Suter (Lit. 93, S. 40) nicht als Querverschiebung, sondern nur als „ungleiche Faltung längs einer Störungslinie". Auch ich erblicke die beste Lösung der Frage darin, N-S bis NE-SW gerichtete Störungszonen anzunehmen, die schon vor der Faltung bestanden und in denen sich während der Faltung zum Teil Transversalverwerfungen, zum Teil an den Kreuzungspunkten mit den Juraketten Knikkungen, Faltenablösungen, Brüche etc. entwickeln konnten.

II. Die Rumpffläche.

A. Die Einebnungsfläche der Freiberge.

Die Hochfläche der Freiberge läßt die geologische Struktur, die tektonischen Besonderheiten nur schwer erkennen; es liegt, wie ich schon in der Einleitung sagte, eine weitgehende Einebnung vor.

1. Das Gebiet der Velleratkette zwischen Les Sairins und Les Pommerats.

Um eine erste genauere Uebersicht zu erhalten, begeben wir uns am besten nach P. 1015,5 nordöstlich Montfaucon (Figur 1). Das Dorf Montfaucon liegt auf dem Südschenkel der Velleratkette. Das Rauracien fällt hier wie auch östl. und westl. davon mit ca. 10^0 nach S ein; es bildet eine weite Platte, die mit Lehm bedeckt ist und die sich gegen Pré Petitjean hinunterzieht. Die Oberfläche dieser Tafel neigt sich indessen etwas weniger stark nach Süden als der Malm; bei Pré Petitjean kommt sie zunächst ins Sequan, dann ins Kimeridge und in das diesem aufgelagerte Miocaen zu liegen; wir tun gut, sie als einen Teil der Rumpffläche der Freiberge anzusehen. Seit ihrer Entstehung ist diese Peneplain — das erkennen wir bereits hier — leicht eingebogen worden; die Jurafaltung kann nicht vor der Einebnung schon gänzlich beendet gewesen sein. Richten wir nun den Blick von unserem Aussichtspunkte aus nach NW, so erkennen wir die Häuser von Les Enfers; sie befinden sich in einer großen Ebene (Fin des Plaimbois-Fin des Esserts), die sich bis zu einer sie begrenzenden Randlinie im N verfolgen läßt; hinter dieser Linie vermuten wir den Steilabfall des Doubstales. Auch diese Fläche gehört der Peneplain an; sie erstreckt sich über Kimeridge, Sequan und Rauracien, ja bei Les Enfers sogar zum Teil über das Oxfordien des Kerns

der Velleratkette. Gegen Montfaucon zu sind allerdings die weichen Oxfordtone etwas ausgeräumt worden, so daß jetzt die Innenseite des Rauracienschenkels einen verhältnismäßig steilen Abhang bildet. Nach E schließt sich das Gewölbe; d. h. auf seinem Scheitel, bei P. 1015,5, ist der Malmkalk erhalten geblieben. Auch die Rumpffläche ist hier vorhanden. Im N findet sie sich in der Fortsetzung der Ebene von Fin des Esserts auf der von Fin des Rondez in ca. 970 m Höhe und zieht sich hinüber nach Les Sairins dessous und Les Sairins dessus, wo sie sich, entsprechend dem Axialanstieg der Mulde von Les Sairins ebenfalls axial richtet (Figur 2). Die 45 m Höhenunterschied vom P. 1015,5 nach P. 970 (Fin des Rondez) sind durch den Nordschenkel der Velleratkette begründet; die Peneplain ist hier eingebogen, keineswegs zerstört worden. Wenden wir uns dagegen nach E, so schauen wir in den tiefen Ausräumungskessel von Froidevaux; er liegt im Kern der Antiklinale, der bis auf den Hauptrogenstein aufgeschlossen ist. Zu unserer Rechten öffnet er sich in einem Tälchen nach der Mulde von Plain de Seigne. Dieses Tälchen ist heute trocken; es ist jedoch sicher durch fließendes Wasser geschaffen worden, da es typische Erosionsformen zeigt. Sein Bach hat wohl einst von Plain de Seigne her in die Malmkalke des Südschenkels der Falte eingegriffen und sie durchsägt; in den weichen Oxfordtonen begann sogleich die intensive Ausräumung, und zwar gabelte sich das Tälchen von unten her bezeichnenderweise in 2 Aeste, die nach jeder Seite dem Oxfordstreifen folgten. Auch der obere Dogger und der Hauptrogenstein wurden, wenn auch nicht so stark, abgetragen. Die Rumpffläche ist jedenfalls heute vom Malm-Südschenkel bei Les Pontenets bis hinüber zum Nordschenkel bei Les Sairins nirgends mehr zu sehen. Bei Les Sairins dessous durchschneidet von der nördl. Oxfordkombe her der Ansatz eines kleinen Tälchens das Rauracien; der gute Zugang in den Gewölbeaufbruch von Froidevaux mit seinen Weiden — östl. und westl. bildet das Rauracien einen bewaldeten, teilweise mit einer Felskante versehenen Steilabhang — mag zum Teil den Anlaß zur Entstehung der Siedlung gegeben haben. — Am Südschenkel bei Les Pontenets konstatierte A. Glauser (Lit. 42) eine wenig westl. endende Verwerfung, welche sich nach NE gegen Les Seignattes-Enson la Fin richtet. Die Fläche geht bei

Les Pontenets wie auch nord-östl. bei Pré dessous und Pré dessus über sie hinweg und läßt sie in keiner Weise in Erscheinung treten, zumal noch etwas Lehm vorhanden ist. Wir müssen daraus schließen, daß der Bruch älter als die Fastebene ist. Da die Peneplain vollkommen diskordant zu der gebogenen und teilweise überschobenen Schichtserie liegt, müssen wir annehmen, daß sich auch die hauptsächlichste Faltung vor der Einebnung vollzogen hat. Wir können somit die Brückner'sche Theorie von der Zweiphasigkeit der Faltung ohne weiteres bejahen: der ersten, ungleich wichtigeren Phase folgte die Einebnung, dieser die zweite Phase in Form einer leichten Wellung des Geländes. Eine genaue Begründung werde ich später geben; zunächst möchte ich das Gebiet auf der Grundlage der Brückner'schen Theorie rein induktiv schildern.

Betrachten wir nun die Velleratkette westl. des Gewölbeschlusses von P. 1015,5. Das erste, zwischen Montfaucon und Les Enfers gelegene Stück kennen wir bereits. Weiterhin tritt im Gewölbekern bei Finage de la Bosse der obere Dogger zutage. Die Ausräumung ist nicht so stark wie bei Froidevaux. Bei P. 993 (Finage de la Bosse) hat sich die Peneplain auf einem eng begrenzten Gebiet im Callovien erhalten; sonst, sowohl halbwegs gegen Les Enfers als besonders beim Weiler La Bosse ist sie zerstört worden und muß vom einen Malmschenkel zum andern hypothetisch in der Luft gedacht werden. In der nördl. anschließenden Mulde erstreckt sie sich von Les Enfers her zum Hof Les Plaimbois und weiter über Plain sur les Roches zum kleinen Plateau von Sur les Tannez hart am Erosionsrand des Doubstales. Vom Doubs, vom Antiklinalaufbruch von Vautenaivre her greifen bewässerte oder trockene Tälchen ein; z. B. trennt ein Trockentälchen, das sich südl. der Côte du Sciet bis nahe Les Plaimbois im Sequan eingetieft hat, die zusammenhängende Fläche von Plain sur les Roches-sur les Tannez von dem widerstandsfähigen Rauraciensporn zwischen der Côte du Sciet und der Côte des grands Monts (P. 896 — P. 916), auf welchem die Fastebene noch zu erkennen ist. Wenig westl. hat sich ebenfalls von Vautenaivre her ein kleiner Bach rückwärts nicht nur durch das Rauracien ins Sequan, sondern durch den ganzen aus hartem Kimeridgekalk bestehenden Mul-

denkern durchgefressen. Das Plateau von Sur les Tannez ist so selbst zu einem Sporn geworden, der durch den ca. 30 m tiefen Einschnitt von der Fläche, auf welcher die Ortschaft Les Pommerats liegt, losgelöst ist. Das junge Tal, welches im Gegensatz zu andern Eintiefungen noch Wasser führt, setzt sich östl. von Les Pommerats schräg durch das mit ca. 50° N fallende Rauracien mit geringem Gefälle aufwärts fort. Die harten Kalke bedingen eine starke Verengung; plötzlich tritt jedoch eine Weitung ein, in der 2 Weiher eingebettet sind: durch eine leichte Wellung im Nordschenkel der Velleratkette ist der Oxfordton frei gelegt worden. Darauf treten die Talseiten auf eine kurze Strecke wieder näher; nach abermaliger Querung des nun weniger steil einfallenden Rauraciens treten wir in eine Ausräumungswanne im Oxfordien, die sich nach rechts gegen La Bosse hinzieht, während geradeaus sich gleichfalls eine Kombe verfolgen läßt: der nach E axial aufsteigende Callovienkern spaltet die Oxfordtone in 2 ihm zu beiden Seiten anliegende Streifen, welche durch die Erosion ausgeräumt sind.

Bei La Bosse ist die Einebnungsfläche nicht mehr vorhanden; sie findet sich westl. bei P. 1067 (Fin dessus), steigt also axial ca. 60—70 m an. Die Velleratkette teilt sich in 2 Gewölbe, von denen das nördliche, wichtigere über Les Pommerats gegen Goumois streicht, während das südliche (Fin dessus-Enson le Bémont) schon an der von Schuh (Lit. 89) geschilderten Ueberschiebung nordwestl. von Saignelégier endet; die dazwischen gelegene Mulde wird durch die gleiche NNE-SSW verlaufende Ueberschiebung geschleppt, d. h. nach Süden abgelenkt, so daß das nördl. Zweiggewölbe sich bei Goumois stärker in die Breite entwickeln kann. Vergleichen wir die Strukturkarte der Auflagerungsfläche des Kimeridge (Tafel 3) mit der Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6), so zeigt uns die erste einen Axialanstieg von der Linie Les Pommerats-Saignelégier aus bis Finage de la Bosse, den wir als Ergebnis der ersten Faltungsphase betrachten können. Aus der zweiten Karte, welche uns im wesentlichen die zweite Faltungsphase widergibt, ersehen wir indessen, daß die Rumpffläche von W her bis Fin dessus axial an- und dann gegen La Bosse axial absteigt; außerdem erkennen wir, daß die letzte Faltung nicht mehr 2 gesonderte Gewölbe schuf, sondern nur eine flache Antiklinale

mit dem höchsten Punkt bei Fin dessus, also an der Stelle der ursprünglichen südl. Teilkette. Hier bei Fin dessus machte sie sich viel stärker geltend als etwa bei Finage de la Bosse; der Hügel ragt deshalb orographisch von allen Seiten hervor; die Ortschaft Saignelégier liegt fast 90 m tiefer. — Wir sehen, daß die erste Faltungsphase gänzlich verschieden von der zweiten war, nicht bloß hinsichtlich ihrer größeren Intensität. Die zweite Faltung konnte ein altes Gewölbe mitsamt seinen angelagerten Mulden und sogar einer weiteren Antiklinale ergreifen und sie als ganzes emporheben, d. h. aufbiegen; es kam dabei zu einer Wellung, aber nicht mehr zu einer Kofferfaltenbildung. Im Falle von Fin dessus wurde der Nordschenkel zusammen mit der Peneplain um 10—15°, der Südschenkel um ca. 8 bis 10° geneigt; teilweise wurden seither die Gehänge namentlich der Nordseite in kleinem Ausmaße abgespült; die Einebnungsfläche ist deshalb da und dort zu ergänzen. — Der Axialabstieg von Fin dessus nach W ist noch beträchtlicher als nach E: bei P. 867 westl. der Straße Saignelégier-Les Pommerats liegt die Fastebene ca. 150 m tiefer als bei Fin dessus. Sie ist hier nur wenig gewellt und läßt sich ohne Unterbruch nach Les Pommerats und von dort sowohl zurück auf das Sequanplateau von Sur les Côtes als auf die Fläche von La Plature verfolgen, die sich über Kimeridge, Sequan und Rauracien ausdehnt; sie geht auch über die erwähnte Ueberschiebungslinie hinweg, an welcher das südl. Teilgewölbe der Velleratkette endet. Da wir uns aber ganz nahe am Rande des Doubs-Cañons befinden, wird sie zuweilen von Tälchen unterbrochen. Es sind zwar eher weite, trockene Mulden, die mit dem jungen Einschnitt bei Les Pommerats nichts gemeinsam haben; erst an dem scharfen Geländeknick, an welchem die jugendlichen Formen des Doubstales einsetzen, vertiefen sie sich rasch und bergen Wasseradern; auf dem Kartenbild, etwa der morphologischen Karte (Tafel 5), zeigt der Erosionsrand an diesen Stellen jeweils Einbuchtungen. Im N, bei La Plature, ist eine derartige Mulde im Sequan eingesenkt; doch erstreckt sie sich nur ca. 300 m weit. Wenig südl. ist bei Sur les Crins in der wichtigeren Zweigfalte der Velleratkette der Oxfordton aufge-

schlossen und, durch ein Tälchen vom Hofe Sur les Côtes her angezapft, ausgeräumt worden; die Rumpffläche ist übrigens hier minimal aufgebogen, ein Zeichen, daß die zweite Faltung sich auch an einem früheren Teilgewölbe nochmals äußern konnte, nämlich da, wo südl. die Hauptwellung in Folge raschen Axialabstiegs beendet war. — In einer weitern, wiederum im Sequan liegenden Talmulde, zwischen Sur les Côtes und P. 867, wurde die Straße von Goumois nach Les Pommerats angelegt; das Sequan erweist sich gegenüber dem harten Rauracien und Kimeridge als etwas weniger widerstandsfähig. Die größte Einsenkung zieht sich vom P. 859 bei La Retenue nach E bis in die Nähe von Saignelégier; nach S zweigt gegen die Straße von Saignelégier nach Muriaux ein Nebentälchen ab, das das schwach ausgeprägte, südl. Bémont aus der Mulde von Pré Petitjean auftauchende Gewölbe von Saignelégier quert. Bei Muriaux endlich findet sich, auch wieder im Sequan, ein letztes Glied in der Reihe dieser Mulden, das hier zugleich auch einer in der ersten Faltungsphase gebildeten Synklinale entspricht. — Was nun die Peneplain anbelangt, so ist sie, wie ich schon andeutete, an der Stelle der Einsenkungen zerstört worden, besonders auch südl. P. 867 in der Talwanne von La Retenue-Saignelégier. Man hat sie sich dort durch die zweite Faltung leicht eingewalmt und dann nach S ansteigend vorzustellen, da sie sich auf Sur le Cras, auf dem Scheitel der kleinen Antiklinale von Saignelégier, in 990—1000 m Höhe findet. Von dort zieht sie sich annähernd horizontal über die Mulde von Muriaux hinweg gegen die Spiegelbergkette, an der sie nochmals ansteigt. Das Gewölbe von Saignelégier hob sich demnach in der zweiten Faltungsphase nur insofern, als sein Südschenkel direkt in den Nordschenkel der Spiegelbergkette überging; erst infolge der leichten Ausräumung der Mulde von Muriaux wurde der Hügel von Sur le Cras isoliert. Auf Sur le Cras fand F. Schuh (Lit. 89, S. 15) aus der Wiese herausragende Haufen von fest verkittetem Konglomerat, dessen einzelne Komponenten alle aus dem oberen Malm stammten. Es war mir nicht möglich, bei meinen Untersuchungen dort irgendwo diese Konglomerate wiederzufinden; bei den tatsächlich vorhandenen Haufen handelt es sich durchwegs um Lesesteinhaufen, deren Bestandteile aus verwittertem Malmkalk bestehen.

2. Das Gebiet der Raimeuxkette zwischen Lajoux und Le Noirmont.

Gehen wir auch hier von der zentralen Erhebung, der von Les Montbovats südl. Pré Petitjean aus. Der Hauptrogenstein ist hier auf eine Erstreckung von fast 5 km frei gelegt und baut einen flachen Rücken auf, der namentlich von Montfaucon aus, aber auch von S her im Landschaftsbild auffällt. Axial steigt das Gewölbe von beiden Seiten gegen Les Montbovats an. Die Rumpffläche hat sich von Finage des Rouges Terres bis P. 976,3 auf dem Rogenstein erhalten (1046 m bei Les Montbovats); in der nördl. und südl. Oxfordkombe ist sie zerstört; sie findet sich wieder auf den beidseitigen Malmschenkeln, auf dem nördl. in ca. 1000, auf dem südl. in ca. 1020—1050 m Höhe; dann senkt sie sich langsam gegen die anschließenden Mulden. Wie die Velleratkette ist auch die Raimeuxkette in der zweiten Faltungsphase als ganzes leicht aufgebogen worden. Die Scheitellinie fällt zum Teil mit dem ebenen Scheitel der ersten Faltung (Kofferfalte) zusammen; zum Teil, wie besonders in der Gegend von Les Rouges Terres, ist sie an die Stelle des früheren Südschenkels gerückt; in der Nähe von Sur le Cras nördl. La Theurre liegt sie in 1080 m (Tafel 4, Profil D). Hier ist der axiale Höhepunkt zu suchen. P. 1080 tritt orographisch gut hervor; der Hügel wird von einer charakteristischen Tannengruppe gekrönt, die ihn von weit her erkennbar macht. Nach W geht der Axialabstieg gegen Les Cerlatez, wo die Peneplain noch in 1000 m Höhe anzutreffen ist, ziemlich rasch vor sich; nach E ist er bedeutend langsamer. Die nach S gerichtete Ueberschiebung, die Rückfaltungserscheinung am ursprünglichen Südschenkel, wird von der Rumpffläche überlagert; da vielfach noch Lehm vorhanden ist, ist es begreiflich, daß sie von Rollier, der seine Untersuchungen über große Gebiete ausdehnte, noch nicht entdeckt wurde. Ohne Unterbruch legt sich die Fastebene in die Mulde von La Theurre, wo sie fast horizontal in durchschnittlich 1010—1030 m Höhe vorkommt; spätere Ausräumungen fanden hier so gut wie keine statt. Auch in der der Raimeuxkette nördl. vorgelagerten Mulde von Pré Petitjean ist die Peneplain zum allergrößten Teil erhalten; sie greift hier etwas tiefer, bis ca. 940 m. Der heutige Höhenunterschied zwischen

den Synklinalen von Pré Petitjean und La Theurre ist mit Sicherheit der zweiten Faltungsphase zuzuschreiben. — Südl. von Pré Petitjean durchbricht ein Erosionstälchen den steil, manchmal senkrecht stehenden Malmnordschenkel der Raimeuxkette. Im Oxfordton ist dadurch eine nach beiden Seiten sanft ansteigende Kombe ausgearbeitet worden. Ebenso wurde der Kern der Antiklinale im W bei Les Royes angezapft. Der Dogger ist dort bereits abgetaucht; im Oxfordien wurde eine breite Ausräumung geschaffen, in der heute der Weiher von Les Royes aufgestaut ist. Von ihr aus entstand zu beiden Seiten des absinkenden Calloviens und Rogensteins je eine Kombe; die südl. läßt sich bis Les Rouges Terres verfolgen. — In gleicher Weise griff im NE ein Gewässer von der Mulde von Plain de Seigne her ein: bei Les Neufs Prés ist der Malmnordschenkel heute durch ein Trockental unterbrochen. Die nördl. Oxfordkombe steigt von dort nach W bis Les Peignières leicht an; am Rande des östl. abtauchenden Rogensteins wurde indessen auch ein Tälchen nach S eingeschnitten; dadurch wurde die südl. Kombe auch von hierher bis gegen Les Rouges Terres eingetieft.

Im Osten von Les Montbovats werden die Verhältnisse etwas komplizierter. Die Mulde von La Theurre-Lajoux wird bei Bois Rebetez durch ein nur 1½ km langes, an beiden Enden durch Brüche begrenztes Gewölbe unterteilt. Diese Antiklinale, in deren Mitte, östl. Bois Rebetez dessus, an einer Stelle das Oxfordien aufgeschlossen ist, erscheint neben der Raimeuxkette als durchaus sekundär. Sie fällt in die Verlängerungslinie der SSW-NNE streichenden Caquerellekette; nördl. von ihr erleidet die Raimeuxkette eine Schleppung und wahrscheinlich einen Austausch der Doggerkerne. Die Peneplain ist nun in dieser Gegend nur sehr wenig gewellt; von der Mulde von Les Joux Derrière (Teil der Synklinale von La Theurre-Lajoux) zieht sie sich, wie Tafel 4, Profil C zeigt, direkt über die annähernd gleich hoch — 1020 m — gelegene Falte von Bois Rebetez, welche orographisch überhaupt nicht in Erscheinung tritt; dann setzt sie über den ausgeräumten Oxford- und Callovienkern der Raimeuxkette hinweg und zeigt sich wieder an deren Nordflügel, auf dem Rauracienkamm bei Les Neufs Prés und auf der Sequanplatte von Gros Montcenez in ca. 950 m

Höhe; sie fällt also um ca. 70 m nach N. Die durch die zweite Faltungsphase erzeugte Wellung, deren Achse sich von P. 1080 an nach E senkt, ist demnach hier kaum ausgeprägt. Aus der Isohypsenkarte der Fastebene (Tafel 6) ersehen wir, daß da, wo in der ersten Faltungsphase die Raimeuxkette eine Schleppung erlitt, sich in der zweiten ein axialer Tiefpunkt bildete. Im weitern Verlauf der Antiklinale hebt sich die Achse; in der Gegend von Sous les Cerneux, wo auf kurze Erstreckung der Hauptrogenstein zutage tritt, dürfte sie kulminieren. Die Rumpfebene steigt dort an beiden Malmschenkeln mit ca. 10^0 an, am Nordschenkel auf 990 m, am Südschenkel auf 1060 m; der abgetragene Scheitel mag in etwa 1070 m Höhe gelegen haben. Die Isohypsenkarte läßt uns erkennen, daß durch die zweite Faltung hier, also etwas östl. von der Schleppung der ursprünglichen Raimeuxkette, ein Abweichen in der Streichrichtung, ein Streichen nach NNE gegen die Caquerellekette hervorgerufen wurde; die Antiklinale wird hier durch eine andere Falte abgelöst, welche bei Les Cerniers de Saulcy nordöstl. von Lajoux ihren Anfang nimmt. Nördl. Lajoux ist das Gewölbe in 960 m Höhe scheinbar geschlossen; in Tat und Wahrheit befinden wir uns in der zwischen den sich ablösenden Ketten entstandenen Mulde. Begehen wir die Straße von Lajoux nach Saulcy, so sehen wir, daß die Peneplain auf einem verhältnismäßig schmalen Rauracienrücken, einer Art „Brücke" erhalten ist. Linker Hand blicken wir in den Aufbruch von Sur les Prières-Moulin Dos le Cras. Rechts ist ebenfalls eine Eintiefung, eine kleine, in den Oxford reichende Klus entstanden, deren Bach sich dann in die Synklinale von Undervelier wendet; im Oxfordton hat sich wie üblich eine Ausweitung gebildet, die allseitig von den steilen bewaldeten Rauracienabhängen umgeben ist. Die Erosion dieses Gewässers macht sich bis in die Nähe von Lajoux bemerkbar. Das Dorf selbst liegt in einem flachen Trockentälchen, das sich einerseits der Straße nach Prédame entlang bis westl. P. 975, anderseits in östl. Richtung nach Fornet dessus (977 m) fortsetzt und in welchem die Rumpffläche zerstört ist. Diese besteht noch außer an dem nördl. ansteigenden, bei Lajoux eingewalmten Malmrücken der Raimeuxkette in der unmittelbar südl. anschließenden, von Lehm bedeckten Kimeridgemulde von La Theurre und zieht

dann am Nordschenkel der Pâturattekette hinan. — Es bleibt nun noch die Ausräumung im Doggerkern von Sous les Cerneux-Les Sauces zu besprechen. Von La Combe im untern Teil der Plain de Seigne-Mulde durchnagte ein Nebenbach des Tabeillon den Malmkalk und erreichte bei P. 868 das Oxfordien. Es entstanden 2 Komben, wovon sich die eine, infolge der Schleppung nach S verlaufende bis gegen P. 939 eintiefte, während die östl. gerichtete den Kessel von Moulin Dos le Cras schuf und in einem Bogen in den Oxford-Südschenkel des Gewölbekerns griff. Außerdem schnitt sich ein Rinnsal von P. 868 direkt im Callovienkern ein und räumte bei Les Sauces die südl. Oxfordkombe aus.

Begeben wir uns nunmehr zurück nach den Häusern von Les Rouges Terres. Wir haben gesehen, daß bei P. 1080 die Wellung der 2. Faltungsphase am höchsten war; westlich davon besteht ein Axialgefälle auf ca. 1000 m bei Les Royes und Les Cerlatez. Dann folgt nochmals eine kleine Aufbiegung auf ca. 1030 m bei Les Tillats, bevor die Falte endgültig absinkt. Bei Les Esserts Belats und La Côte entre les deux Cras ist der Oxfordton, der nördl. von Les Cerlatez vom Malmkalk überdeckt wird, auf eine Strecke von etwa 2 km noch einmal aufgeschlossen; von N her wurde er in der Nähe von P 980 angeschnitten, so daß, da der Dogger nicht auftaucht, ein kurzes Stück weit der Scheitel der Antiklinale ausgeräumt wurde. — In diesem westlichsten Abschnitt der Raimeuxkette fallen die Achsen der ersten und zweiten Faltungsphase ungefähr zusammen; nur war die erste Phase nicht nur stärker, sondern reichte auch weiter, bis gegen Le Noirmont. Die Falte der zweiten Phase dagegen senkt sich von Les Tillats an sehr rasch und endet schon vor dem Trockental, welches Bahn und Straße von Saignelégier nach Le Noirmont durchziehen. Nördl. erhebt sich dafür die Spiegelbergkette. Ihr axialer Höhepunkt befindet sich für beide Phasen in der Nähe der Ruine Spiegelberg; da wir uns aber am Rande des Doubstales befinden, hat die Erosion nordwestl. von Le Noirmont das Gewölbe stark zerfressen und den nördl. Rauracienkamm als schroffe Felsmauer heraus präpariert (Les Sommêtres). Bei Le Noirmont liegt die Kante des Doubstalabfalls im südl. Rauracienschenkel. Nach NE zu schließt sich die Antiklinale; östl. der Ruine Spiegelberg ist die Pene-

plain in 1080 m Höhe auf dem Scheitel erhalten. Der Südschenkel wird hier von einer Sequanplatte gebildet, welche in die Mulde von Les Emibois-La Theurre hinunter reicht. Bei Les Esserts bezog die zweite Faltung die hier abtauchende Raimeuxkette in den Südschenkel der Spiegelbergkette ein. Am Abhang gegen das von Bahn und Straße benützte Trockental wie auch am Nordschenkel der Raimeuxkette bei Sur la Côte entre les deux Cras ist die Rumpffläche wahrscheinlich nicht mehr vorhanden; der Hang fällt etwas zu steil ein und ist abgespült. Anderseits fehlt die Peneplain wohl auch etwas südwestl. der Bahnstation von Les Emibois; dort hat vielleicht geringfügige Karsterosion stattgefunden. Ziemlich sicher zeigt sich die Fastebene dagegen im Trockental und ganz sicher in der Kimeridgemulde von Fond des Charmattes-Sous la Neuve Vie, welche nach E in die Synklinale von Pré Petitjean mündet und im N von der hier nur wenig in Erscheinung tretenden Spiegelbergkette begleitet wird. Diese senkt sich von P. 1080 an ziemlich steil nach E — der Hang ist teilweise abgespült —; sie erleidet dann bei Pré St. Nicolas nochmals eine kurze axiale Aufstauung, in welcher das Oxfordien zutage tritt (es ist allerdings kaum ausgeräumt). Die zweite Faltung wirkte aber hier nur sehr wenig; noch schwächer war sie, wie wir schon wissen, im kleinen Gewölbe von Saignelégier; beide Antiklinalen tauchen nach E ab und auch die Peneplain legt sich in die Mulde von Pré Petitjean.

3. Das Gebiet der Pâturattekette zwischen dem Petit Val und Le Roselet.

Westl. von Châtelat und Monible taucht aus dem Muldenzug des Petit Val ein Gewölbe auf, das sich rasch zu ziemlicher Größe entwickelt und die Synklinale in 2 Aeste spaltet; von diesen zieht sich der nördliche über Fornet gegen Lajoux, der südliche gegen Bellelay und Les Genevez. Die Falte wird nach dem 1½ km südl. von Les Montbovats auf ihr liegenden Gehöfte La Pâturatte benannt. Sie zeigt auf der geologischen Karte 4 größere, einander folgende Oxford- und Callovienaufbrüche,

zwischen denen jeweils der Malmmantel geschlossen ist. Wichtig ist dabei, daß das Rauracien größtenteils durch das weiche Argovien ersetzt ist, welches nur an seiner Basis den wenig mächtigen Kalk der Birmenstorferschichten aufweist, während es sonst aus den weichen mergeligen Effingerschichten besteht; der eigentliche Malmkalk ist also auf das Sequan und das Kimeridge beschränkt. Immerhin kommt es im Argovien nie zu so starker Ausräumung und Kombenbildung wie in den Oxfordtonen; die Peneplain hat sich in ihm, z. B. gerade bei La Pâturatte, erhalten können, während sie in der Oxfordzone etwa des Etang de la Gruyère zerstört ist. — Doch beginnen wir im E: Eine erste Kulmination erfährt die Rumpfebene im Kimeridge von Béroie (Tafel 4, Profil B); sie liegt dort fast 1100 m hoch. Wieder erkennen wir den Unterschied zwischen der ersten und der zweiten Faltung: auf der Strukturkarte (Tafel 3) steigt die Falte von E her bis in die Gegend des heutigen Oxfordaufbruchs von Les Embreux allmählich auf; bei Châtelat bildete sich südl. daran anschließend eine sekundäre kleine Antiklinale, deren Südschenkel durch eine Verwerfung ersetzt ist. Die zweite Faltung dagegen, deren Anlage uns die Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) zeigt, schuf ein Gewölbe mit einem ersten axialen Höhepunkt bei Béroie (1090 m), einem zweiten bei Les Embreux (1100 m), und einer Einsenkung (1050 m) dazwischen. Bei Béroie kam der Scheitel in den noch sanft, mit ca. 10^0 einfallenden oberen Teil des Südschenkels der früheren Kette zu liegen, während bei Les Embreux die beiden Achsen annähernd zusammen fielen. Die kleine Falte von Châtelat trat überhaupt nicht mehr in Erscheinung; sie wurde in die Mulde des Petit Val einbezogen. — Die Fastebene ist heute auf der Pâturattekette von La Matenne an der Straße Bellelay-Fornet an über Béroie und Le Creux au Loup bis P. 1085 nördl. Les Genevez vorhanden. Gegen N senkt sie sich leicht — sozusagen ununterbrochen — über Kimeridge und Sequan in die Mulde von Fornet-Lajoux; nach SW trifft man sie bei Les Genevez in 1030—1060 m. Im Becken von Bellelay kommt sie nirgends mehr vor; doch dürfte sie, wie wir später noch sehen werden, ziemlich tief hinunter gereicht haben, bis etwa 960—970 m, d. h. ca. 20—30 m über den Boden des Tales.

Bei Les Embreux stoßen wir auf die erste der erwähnten 4 Ausräumungszonen im Oxfordien und Callovien: ein Tälchen hat sich von NW, von P. 998 her eingeschnitten und die Peneplain vom einen Argovienschenkel zum andern zerstört. — Gegen W fällt die Kette axial ein; sowohl in der ersten wie in der zweiten Faltungsphase wurde sie in der Gegend von Prédame eingewalmt. Prédame liegt zudem an der Stelle des Gewölbes, auf die die Verlängerung der Caquerellekette trifft, d. h. an der Kreuzung der Pâturattekette mit der Sundgaulinie; es macht sich tatsächlich eine wenn auch sehr geringfügige Schleppung bemerkbar, welche Forkert (Lit. 35) auf eine disharmonische Bewegung zurückführt. — Die zweite Faltung ist weiterhin nach WSW fast überhaupt nicht ausgeprägt; die Rumpfebene zieht sich von der Mulde von Lajoux-La Theurre ziemlich flach in die südl. des Pâturattegewölbes folgende Synklinale (Les Genevez-Le Cernil) und steigt höchstens am Sequan-Südschenkel einige Meter an. Dies ist besonders augenfällig beim Hofe von Les Joux; sowohl über den Argovienschenkel wie über den Sequan-Nordschenkel und über die aus Kimeridge bestehende Mulde nördl. davon dehnt sich im Niveau von ca. 1020 m bis Les Joux derrières, Bois derrière, Les Mottes und La Pâturatte eine weite Ebene aus, die ganz unmerkbar gewellt ist; nach S muß man, um in die ebenso flache Mulde von Le Cernil-Pâturage du Bas zu gelangen, eine 4—5 m hohe Schwelle überschreiten. Hier in dieser Gegend ist die Peneplain am reinsten erhalten geblieben und am wenigsten durch die späteren Dislokationen der zweiten Faltungsphase verstellt worden; nirgends so gut wie hier trifft der Begriff „Fastebene" zu. Auch über den von Prédame bis südl. Chez Henri ausgeräumten Oxfordkern erstreckt sich die Fläche im gleichen Niveau; die Kombe öffnet sich bei Prédame in der Richtung gegen Lajoux; sie ist also gleichfalls von außen her angeschnitten worden.

Westl. von La Pâturatte ist auf eine Ausdehnung von ca. 3 km der Oxfordton wiederum aufgeschlossen; bei Gros Bois derrière tritt auch das Callovien, die hier — auf dem Scheitel — flach liegende Dalle nacrée, zutage. Wiederum zeigt uns die Strukturkarte (Tafel 3) wie bei den 3 andern Aufbrüchen einen axialen Höhepunkt; die Peneplain ist dagegen nur ganz mini-

mal aufgebogen, bei Gros Bois derrière eher noch etwas mehr als beim Weiher von La Gruyère. Hier setzt sie von La Theurre in ca. 1030 m Höhe annähernd flach über das Ausräumungsgebiet hinweg und findet sich wieder auf dem Südschenkel des Bois de la Chaux und Pâturage communal, von wo sie sich um etwa 20 m in die Mulde von Le Cernil senkt. Südl. von Gros Bois derrière hebt sie sich bis gegen 1060 m, ist also leicht gewellt. Die Scheitellinie der zweiten Faltung fällt, wo man von ihr überhaupt sprechen kann, meist mit der der ersten zusammen. — Die Ausräumung im Oxfordton ging von 2 Punkten aus: nördl. Gros Bois derrière bei P. 1016 befindet sich im Argovien-Nordschenkel eine kleine Einsenkung, durch die man, ohne einen Kamm zu überqueren, direkt in den Kern des Gewölbes gelangt. Dieser Zugang, diese Anzapfungstelle ist aber nur von sehr untergeordneter Bedeutung; ungleich wichtiger ist die Lücke im Malm-Südschenkel bei der Sägemühle von La Gruyère. Der 7,8 ha große Etang de la Gruyère (Figur 3), der größte derartige Weiher in den Freibergen, ist künstlich aufgestaut; sein Abfluß richtet sich zur Mühle und verschwindet in einer Spalte des Birmenstorferkalkes, d. h. des untern Argoviens. Oberflächlich zieht sich indessen ein Tal, dem die Straße Saignelégier-Tramelan folgt, durch den Südschenkel und mündet in die Mulde von Le Cernil — es handelt sich dabei um den Südschenkel der in der ersten Faltungsphase erzeugten Antiklinale, da die Rumpffläche so gut wie nicht gebogen ist. — Es ist einleuchtend, daß der Bach von La Gruyère einst offen durch dieses Tal geflossen ist; das Oxfordien von La Gruyère ist durch fluviatile Erosion von Le Cernil her angezapft worden, worauf sich rasch die Eintiefung gebildet hat.

Westl. von La Gruyère beginnt die Peneplain axial zu steigen; bei Le Chaumont, da, wo die Kette der ersten Faltung eine Einwalmung und vollständiges Vorhandensein des Malmmantels zeigt, liegt sie 1050 m, wenig weiter 1090 m hoch; sie dürfte bis auf 1100 m gereicht haben, ist aber im Aufbruch von Les Saignes du Roselet nicht erhalten. Wie üblich findet sie sich auf den Schenkeln und läßt sich hinunter in die beidseitigen Mulden verfolgen, im N mit ca. 10^0 Gefälle in die von La Theurre bei Les Chenevières und Les Emibois, im S mit ebenfalls 10^0 in die von Le Cernil bei La Chaux sur Breuleux. Die

Scheitellinie dürfte wenig nordwärts des heutigen Kammes des Malmsüdschenkels gezogen werden. — Der Einschnitt, von dem her die Ausräumung in den Oxfordtonen und zum Teil im Callovien von Les Saignes du Roselet geschaffen worden ist, richtet sich durch den Nordschenkel gegen die Häuser von Les Chenevières.

Bei Le Roselet wird die Tektonik, vor allem die der ersten Faltung komplizierter. Die Strukturkarte (Tafel 3) läßt uns erkennen, daß eine Linie Les Emibois-Les Breuleux nicht weniger als 4 Gewölbe und die dazwischen liegenden Synklinalen kreuzt; wir befinden uns in einem Gebiet der Faltenablösung. Im Norden queren wir die abtauchende Pâturattekette, die bei Le Cratat Loviat gerade noch das Argovien als Kern hervortreten läßt, bevor es unter dem Sequan verschwindet. Wahrscheinlich setzt sie sich in der von H. Suter (Lit. 94, S. 28) beschriebenen Nebenantiklinale von Sous le Terreau und Peu Péquignot nach W fort; sie ist dabei stets auf die nördl. vorgelagerte Mulde überschoben. Die südl. anschließende Hauptkette wird nach W die von Les Bois; sie ist von Les Seignes an ostwärts in 2 Zweige gegliedert, von denen der nördliche über Les Prés des Peux nach Le Roselet, der südliche gegen Prés du Pommerats streicht; von Le Roselet bezw. Prés du Pommerats tauchen beide Aeste ab; statt ihnen entwickelt sich nördl. das Gewölbe von Les Saignes du Roselet-La Pâturatte. Die nördl. Teilfalte ist bei Le Roselet bis auf den Oxfordton aufgeschlossen; es hat sich eine kleine Scheitelkombe gebildet, welche sich nach NW gegen Les Peux öffnet. Im S endlich ist noch das Gewölbe von Le Peuchapatte zu nennen; es trennt sich in der Nähe dieses Dorfes von der Hauptkette (Les Boiskette) und zieht sich östl. nach Les Breuleux; von Forkert wurde es noch nördl. La Chaux sur Breuleux beobachtet, wo es langsam ausklingt. — In der Oberflächengestaltung ist nun von diesen 4 Antiklinalen, denen eigentlich 4 Höhenzonen entsprechen sollten, herzlich wenig zu bemerken. Wohl erhebt sich der Rond Rochat westl. von Les Breuleux auf 1141 m Höhe; doch neigen sich die Abhänge ohne eine nur angedeutete Wellung nach beiden Seiten. Die zweite Faltung hat eben nur einen einzigen flachen Gewölbezug erzeugt, der sich ohne Unterbruch, ohne Ablösung, von Osten, von La Pâturatte und La Gruyère her

nach Westen bis Les Bois und noch weiter zieht. Von der höchsten axialen Erhebung bei Les Saignes du Roselet an senkt er sich etwas (1053 m bei Le Roselet); dann steigt er axial stark gegen den Rond Rochat an (1141 m); die Scheitellinie liegt wenig südl. von Le Roselet. Im Nordschenkel tritt bei Les Peux eine kleine Knickung ein; die ursprüngliche Kimeridgemulde ist deshalb dort ziemlich flach und nicht eigentlich in den Hang eingezogen. Die Rumpffläche ist zum größten Teil erhalten, einzig nördl. des Rond Rochat an der ziemlich steilen Halde von Les Prés des Peux vielleicht etwas abgespült. Nach S fällt sie von Le Roselet sanft über Prés Claclos gegen Les Breuleux; bei Prés du Pommerats hat im Argovienkern der ehemaligen südl. Teilfalte der Les Boiskette von Les Breuleux her eine geringfügige Ausräumung stattgefunden, welche sowohl Straße als Bahn auf einem Damm queren. Im N hat sich von Les Emibois her ein Tälchen gegen Le Cratat Loviat eingesenkt, so daß an der Straße das abtauchende Pâturattegewölbe in Erscheinung tritt; von Les Peux aus ist dabei, wie schon gesagt wurde, auch die Oxfordkombe von Le Roselet geschaffen worden.

4. Das Gebiet der Les Placeskette und der Muldenzone von Le Cernil-La Chaux.

Zwischen den Becken von Bellelay im N. und von Tavannes-Tramelan im S erhebt sich das hohe Gewölbe von Montbautier und Les Places, auf welchem nördl. von Tramelan die aussichtsreichen Prés de la Montagne liegen. Es steigt von der Einsattlung zwischen Bellelay und Le Fuet rasch bis auf 1140 m bei Montbautier an und weist dann über 2 km bis zur Pâturage du Droit einen ziemlich flachen Rücken auf, auf welchem einige Kuppen sitzen (P. 1163,8 bei Montbautier; P. 1162 bei Derrière Jorat; P. 1189 bei Le Chalet). Die Rumpffläche ist hier oben auf weite Strecken vorhanden; am Steilhang ins Becken von Bellelay und gegen Le Fuet (Forêt sous Montbautier) ist sie natürlich zerstört; doch reicht sie bis unter 1000 m, da sie sich bei Les Vacheries dessus (P. 983) und noch tiefer gegen die Straße von Bellelay nach Tavannes vorfindet; ihre Höhenlage über dem Becken von Bellelay ist also sehr gering. Auch

die erste Faltung zeitigte nördl. von Le Fuet eine axiale Senkung. Ein Vergleich der Strukturkarte (Tafel 3) mit der Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) zeigt uns, daß in der Les Placeskette die Scheitellinien der beiden Faltungen in ihrem Verlauf übereinstimmen; sogar die Kulminationspunkte fallen ungefähr aufeinander, wenn auch die Antiklinale der ersten Faltungsphase etwas westlicher (fast 1 km westl. Derrière Jorat) ihren axialen Aufstieg beendet und auch westlicher den Abstieg beginnt als das Gewölbe der zweiten Faltung. Von E nach W legt sich die Fastebene zuerst über das Kimeridge und bei Montbautier über das Sequan; sie fällt dort nach N wie nach S mit ca. 10—12° ein (Tafel 4, Profil B). Bei Derrière Jorat liegt sie auf dem Argovien; am nördlichen, La Sagne au Droz genannten Abhang erfährt sie jedoch eine Knickung; etwa 1½ km weit ist sie fast horizontal gelagert, unmittelbar südl. von Les Genevez sogar ganz leicht (ca. 20 m) gewellt; dann fällt sie nochmals wenig in die Mulde von Bellelay-Les Genevez, in welcher sie bei Les Genevez und westl. davon erhalten ist. Die Ursache der Horizontallagerung bezw. der Wellung ist eine kleine Nebenantiklinale, die während der ersten Faltungsphase entstand, aber auch in der zweiten auf den Druck von Süden, wenn auch minimal reagierte. Westl. von Les Genevez endet das Gewölbchen an einer Ueberschiebung, d. h. es geht in ihr auf; die zwischen der Haupt- und der Nebenfalte gelegene Mulde ist von dort an auf die Hauptsynklinale von Les Genevez überschoben. — Am Südschenkel der Les Placeskette, südl. von Derrière Jorat und Pâturage du Droit ist nichts besonderes zu erwähnen; die Rumpffläche findet sich bei Les Places im Sequan und fällt mit ca. 10—12° nach S ein. Im Trametal ist sie nicht vorhanden; die Hänge sind abgespült. Die Fastebene dürfte hier in eine Höhe von etwa 960—1000 m fallen.

Westl. Le Chalet bei den Prés de la Montagne ändert sich das Bild: der bis hierher geschlossene Malmscheitel hört auf; nach einander kommen der Oxfordton, der obere Dogger und schließlich der Hauptrogenstein zum Vorschein. Die Peneplain ist von hier weg außer auf den Malmschenkeln höchstens an einzelnen Punkten des Doggerrückens der Prés de la Montagne erhalten, wobei sie axial nach W sinkt. Im Oxfordien sind 2 Komben entstanden. Die nördliche tiefte sich von Les Joux am

Rande der Mulde von Les Genevez-Le Cernil her ein. Bei Les Joux liegt der Oxfordton des Nordschenkels in fast gleichem Niveau wie Argovien und Sequan; der steile Nordabhang des Berges findet sich dort im Rogenstein und die Fastebene ist in etwas sanfterem Abfall von P. 1086,5 bis ins Oxfordien bei Les Joux darüber gelegt zu ergänzen. Das Gebiet von Les Joux ist ein durch Querbrüche (erste Faltungsphase!) tiefer gelegtes Stück des Nordschenkels. Oestlich des Ostbruches ist der Malm steiler aufgerichtet; hier kommt es zur Bildung einer eigentlichen Kombe, die nach E 2 km weit bis gegen P 1169 eingetieft ist. Noch länger, 3½ km lang, ist die südl. Oxfordkombe; sie wurde von Les Reussilles her eingeschnitten.

Die Tektonik im W des Doggeraufbruchs vom Prés de la Montagne ist ziemlich kompliziert: wir befinden uns in der Nähe der von hier weg nach S ausklingenden Sundgaulinie. Ein Querbruch durchsetzt die ganze Falte und begrenzt das Auftauchen von Hauptrogenstein wie von oberm Dogger; westl. daran anschließend treffen wir eine Oxfordzone, welche dann unter das Argovien taucht; sie ist bei Les Reussilles von S, von der Mulde von Tramelan her ausgeräumt und birgt einen kleinen Weiher; von ihr aus entstand über den Querbruch hinweg die südl. Oxfordkombe der Les Placeskette. Nach N, gegen die Synklinale von Le Cernil (Pâturage du Bas) hinüber treten noch verschiedene andere Querbrüche aus, die aber alle von der Rumpffläche überdeckt werden. Diese ist beim Weiher bei Les Reussilles zerstört, findet sich aber bei Le Bousset im nördl. Teil der Oxfordzone; von dort zieht sie sich gegen Bas du Cernil und Pâturage du Bas. Sie ist auch auf dem Argovienrücken nordwestl. Les Reussilles (P. 1057) erhalten, d. h. auf dem Scheitel der hier immer noch nach W axial fallenden Les Places-Antiklinale, den bei Les Gérinnes die Straße Saignelégier-Tramelan quert. Sowohl das Gewölbe der ersten als auch das der zweiten Faltungsphase weisen etwas westl. von Les Gérinnes einen axialen Tiefpunkt auf; jenseits steigen sie bei Sous le Crêt nochmals an und senken sich von Le Georget an wieder; die in der ersten Phase entstandene Kette setzt sich dann in dem Nebengewölbe von La Chaux d'Abel fort, welches die Sonnenbergkette im N begleitet und dessen Bau von H. Suter (Lit. 94, S. 24) erläutert worden ist. Die jüngere Falte endet dagegen; die Pene-

plain legt sich vom Sonnenberg nach N über die Antiklinale von La Chaux d'Abel in die gleichnamige Mulde, ohne dazwischen in einer Nebensynklinale — der Verlängerung des Beckens von Tramelan — eingebogen zu sein, mit andern Worten: das ursprüngliche Nebengewölbe von La Chaux d'Abel wurde in der zweiten Faltungsphase samt der zwischen ihm und der Sonnenbergkette gelegenen Mulde in den Nordschenkel des Sonnenbergs und die nun doppelt so breite Synklinale von La Chaux d'Abel einbezogen.

Doch kehren wir zurück nach Les Reussilles. Die Rumpffläche ist in der Umgebung dieses kleinen Dorfes sehr gut erhalten. Besonders schön erkennen wir sie an der Straße nach Tramelan. In einem Steinbruch zur Linken, jenseits der Bahnlinie, erblicken wir mit ca. 45° nach S einfallendes Kimeridge (Fig. 4). Die Kalkbänke sind nach oben durch eine scharfe Linie begrenzt, die sich gleichfalls, aber sehr sanft gegen S, in die Mulde von Tramelan senkt: die Fastebene. Sie ist von hier aus am ganzen Südschenkel der Les Placeskette, bei Les Fraises und Pâturage du Droit, auf Argovien, Sequan und z. T. noch auf Kimeridge vorhanden; in der Synklinale ist sie weggeräumt; man dürfte sie sich über Tramelan in ca. 1000—1020 m Höhe vorstellen, was sich mit der Mächtigkeit der Tertiärs gut vereinen läßt. — Westl. von Les Reussilles, bei Le Saucy und längs der Straße nach Les Breuleux, dehnt sich die Einebnungsfläche ebenfalls aus. Bei Bartelard tritt hingegen im Argovien eine mehr als 20 m tiefe, fast kreisrunde Einsenkung von nicht ganz einem halben Kilometer Durchmesser auf; sie besitzt nach keiner Seite einen Ausgang; dafür zeigt der Westhang eine flache Ausbuchtung gegen Sous le Crêt hinan. Die Entstehung der Schüssel möchte ich der Karsterosion zuschreiben. — In der von Tramelan her eingreifenden, in der natürlichen Verlängerung der sich zuspitzenden Mulde gelegenen Combe des Arses ist die Peneplain zerstört; wir treffen sie wieder bei Les Bavoux am Nordschenkel der Sonnenbergkette.

Halbwegs zwischen Tramelan und Les Breuleux erhebt sich der isolierte Hügel von Le Georget; er entspricht, wie ich schon erwähnte, einer axialen Kulmination sowohl der ersten wie der zweiten Faltung. Als älteste Schicht tritt die Dalle nacrée des Calloviens zutage; um diesen Kern herum legen sich Oxfordien

und Argovien. Beachtenswert ist, daß die weichen Tone nur sehr wenig ausgeräumt worden sind; die Rumpffläche ist großenteils erhalten und höchstens an den steilern Hängen von Sous le Crêt etwas abgespült (Tafel 4, Profil D).

Nach N gelangen wir in das breite Muldengebiet von Le Cernil und La Chaux, dessen tiefster Teil (östl. La Chaux sur Breuleux) von Torf eingenommen wird. Am sanft sich abdachenden Nordschenkel der Les Placeskette bei Le Bioulet, Les Beudedez, La Chaux ist die Fastebene nirgends zerstört worden; gegen Les Gérinnes und Le Cernil zu ist eine starke Lehmbedeckung vorhanden, welche den Untergrund verhüllt; aber auch da wie auch im Muldenkern von Le Cernil ist die Peneplain nicht unterbrochen. In der Gegend von La Tourbière bis südwestl. La Chaux sur Breuleux scheint sie mir indessen zu fehlen. Um die Fläche von La Chaux sur Breuleux zu gewinnen, müssen wir vom Boden des Torfmoors aus ein etwa 25 m hohes Steilbord erklimmen, und auch südl. ist die Ebene von La Tourbière von einem Hang begrenzt. Hydrographisch ist die Mulde ein Polje; sie scheint es schon sehr bald nach der zweiten Faltungsphase geworden zu sein — bei Le Cernil ist damals noch der Abfluß des Etang de la Gruyère in sie gemündet. — Sehr wahrscheinlich hat dabei die Karsterosien die Fastebene von wenig westl. Le Cernil an bis gegen Les Breuleux entfernt, so daß sie heute etwa 20 m über der Tourbière von La Chaux und über dem Lehmboden zwischen ihr und Les Breuleux anzunehmen ist (Tafel 4, Profil D).

5. Die westlichen Freiberge.

Der westl. Abschnitt der Freiberge erstreckt sich über ein lange nicht so großes Gebiet wie die bis jetzt behandelten Teile; der Doubs ist vom Val de St. Imier viel weniger weit entfernt als etwa bei Soubey, wo er die Velleratkette und die St. Braiskette schon durchschnitten hat. Die wichtigsten tektonischen Einheiten der Westfreiberge sind im N die Spiegelbergkette und die Mulde von Chantereine-Les Prailats, die westl. Fortsetzung derjenigen von Les Emibois. Südl. schließen sich die Gewölbe von Les Bois und Le Peuchapatte und die große Synklinale von

La Chaux d'Abel an. Die bis zu 1200 m ansteigende Sonnenbergkette möchte ich als ganzes gesondert besprechen.

Die Spiegelbergkette am Nordrand ist von dem in der nördl. folgenden Mulde fließenden Doubs her sehr stark zerfressen und erodiert worden. Auf der geologischen Karte (Tafel 1) scheint sie im N von Le Noirmont in einem Knick aus reiner E-W in NE-SW-Richtung umzubiegen; indessen erkennen wir aus der Strukturkarte (Tafel 3), daß die Biegung doch nicht so stark ist und kaum auf eine ältere Störung zurückgeführt werden kann, wie dies Schuh annimmt. Dagegen setzt ca. 1 km westl. der Ruine Spiegelberg eine Ueberschiebung des Nordschenkels des Doggerkerns auf die Mulde des Doubstals ein, welche sich nach SW bis gegen Biaufond verfolgen läßt; interessant ist dabei eine von H. Suter (Lit. 94, S. 31) gefundene, durch den wenig mächtigen Callovienton verursachte disharmonische Faltung im Zuge Le Cerneux Crétin-Le Cerneulat, welche allerdings für den Gesamtbau der Antiklinale nur von untergeordneter Bedeutung erscheint. Das Gewölbe der ersten Faltungsphase zeigt axiale Höhepunkte außer in der Nähe der Ruine Spiegelberg bei La Seigne aux Femmes-Sous les Craux und dann nochmals bei Les Prés derrière nördl. Cerneux Godat; von dort weg senkt es sich axial gegen Biaufond. Durch die Einebnung wurde sein Rogensteinkern vom Spiegelberg an über Sous les Craux bis gegen Sous le Mont unterhalb Cerneux Godat, der obere Dogger bis Biaufond freigelegt. Die Rumpffläche ist namentlich infolge des Einschneidens des Doubs fast überall zerstört; nur auf dem Malmsüdschenkel ist sie, z. T. wenigstens, erhalten, auf dem Hauptrogenstein höchstens an einzelnen Stellen des Scheitels bei Sous les Craux (P. 1014). Die Isohypsenkarte (Tafel 6) zeigt uns die höchste Erhebung der zweiten Faltung am Spiegelberg; bei Le Noirmont besteht eine axiale Depression (ca. 1000 m); die Scheitellinie verläuft dann etwas südl. derjenigen der ersten Faltungsphase und steigt zwischen La Seigne aux Femmes und Le Haut des Esserts und nochmals nördl. Combatte du Pau auf ca. 1050 m an. In der Gegend von Les Prailats und bis gegen Cerneux Godat ist die zweite Faltung nicht recht ausgeprägt: der Scheitel geht dort unmerkbar direkt in die südl. gelegene Mulde über. Der Südschenkel, an welchem die Fastebene leicht nach S einfallen sollte, fehlt voll-

kommen. Er ist bei Sur le Mont südwestl. von Cerneux Godat wieder entwickelt; dort legt sich die Rumpffläche mit 5° S fallend über Argovien und Sequan, ist aber nördl. wie südl. durch die vom Doubstal und von der Combe de Biaufond her wirkende Erosion abgetragen. Der orographisch gut hervortretende Hügel von Sur le Mont (westlichster axialer Höhepunkt der Spiegelbergkette!) ist so zu einem ein Relikt der alten Oberfläche tragenden Sporn zwischen den jugendlichen Einschnitten geworden.

Auch in der Mulde von Chantereine-Les Prailats hat sich nach der zweiten Faltung die Erosion geltend gemacht, wenn auch zum großen Teil in anderer Weise als in der Spiegelbergkette. Die Synklinale wird im S zunächst von der schon erwähnten Nebenantiklinale von Peu Péquignot und dann, etwa von der Höhe von Le Boéchet an, von der Hauptfalte von Les Bois begleitet; beide sind stark auf sie überschoben. Von Le Noirmont her ziehen sich Straße und Bahn bei Les Esserts über die auf Sequan und Kimeridge des Nordflügels liegende Peneplain. Dann biegen sie nach links und queren das Torfmoor von Chantereine; die Bahn benützt dabei einen Damm, während die Straße sich senkt und jenseits wieder ansteigt. In der südwestl. Verlängerung der Tourbière von Chantereine gelangen wir in die von Les Barrières, welche ebenfalls etwas eingetieft ist. Am besten lassen sich die Verhältnisse am Weg von Les Esserts nach Peu Péquignot studieren: zunächst gehen wir dort etwa 200 m weit über eine ebene Fläche, die sich im gleichen Niveau jenseits des Moores von Chantereine bei den Häusern von Peu Péquignot fortsetzt: Es ist die Peneplain. Sie fällt vom Scheitel der Spiegelbergkette der zweiten Faltung bei Le Haut des Esserts langsam (4—5°) in die Mulde und steigt, allerdings dort abgetragen, von Peu Péquignot wieder zum Scheitel der Les Boiskette bei Cerneux dessus an. Unser Weg senkt sich nun vom Hofe Chantereine an um etwa 10 m und quert die sumpfige Niederung; über ein Steilbord gewinnen wir dann die Platte von Peu Péquignot, welche sich nach SW vollkommen eben bis zur Häusergruppe von Le Creux des Biches erstreckt. — Bei der Eintiefung der beiden Moore handelt es sich m. E. wie bei der Mulde von La Chaux um eine Polje, in welchem

die Karsterosion gewirkt hat. Gleich nach der zweiten Faltung ist vermutlich dadurch das von der Rumpffläche noch überdeckte Tertiär weggeräumt und damit die Fastebene selbst zerstört worden. Nicht zufällig fällt die Ueberschiebungslinie südl. der Mulde mit dem Steilbord bei Peu Péquignot zusammen; sind doch die weichen Tertiärschichten viel leichter abzutragen als das Sequan, das den Untergrund vom Peu Péquignot bildet. — Bei Combatte du Pau westl. von Les Barrières ist keine Eintiefung mehr vorhanden; in 1030—1040 m Höhe legt sich die Fastebene breit über die ganze Mulde. Nach W erreichen wir die Gegend von Les Prailats, wo, wie wir gesehen haben, der Scheitel der Spiegelbergkette der zweiten Faltung direkt in die Mulde von Chantereine übergeht. Trotzdem ist die Fastebene hier teilweise zerstört (Tafel 4, Profil F), da vom N, vom Gebiet von Le Cerneutat, d. h. vom Doubstal her die Erosion eingegriffen hat. Nach der zweiten Faltung richtete sich die Entwässerung wohl konsequent in der Mulde nach SW gegen Biaufond; die Muldenachse zeigt von Combatte du Pau an ein Gefälle dahin. Später gelang es jedoch einem Nebenbache des Doubs, sich von Le Cerneutat her rückwärts gegen Les Prailats einzuschneiden. Erst von Cerneux Godat an senkt sich heute ein Tälchen in der Mulde nach SW; zunächst, vor allen Dingen bei Cerneux Godat selbst, ist die Rumpffläche gut erhalten; bald jedoch stehen wir am Rande des recenten Erosionsgebiets der Combe de Biaufond.

Betrachten wir nun die zentrale Kette der Westfreiberge, die Antiklinale von Les Bois. Wir wissen, daß sie sich nach E in mehrere Zweige spaltet, über welche sich die Peneplain in einer einzigen Wölbung hinüberlegt; die zweite Faltungsphase schuf nurmehr eine einzige Kette, die zudem bei Le Rosclet nicht mehr von einer andern abgelöst wurde. Die Scheitellinie dieser jüngeren Falte liegt meist im Argovien des ursprünglichen Südschenkels; hier finden sich die höchsten Stellen: im E der Hügel von Rond Rochat (1141 m), dann bei Le Peuchapatte die Kuppe von Cerneux dessus (P. 1187). Gegen W senkt sich das Gewölbe axial allmählich; bei Bois Français liegt eine kleine Einwalmung vor, die einen leichten Uebergang von Straße und Bahn ermöglicht. Sie ist an der Stelle eines früheren kurzen Querbruches entstanden, welcher

jedoch wohl nur indirekt die Einsattlung verursacht hat. Die Störung bildete sich in der ersten Faltungsphase und lebte in der zweiten kaum wieder auf. — Jenseits, nördl. des Dorfes Les Bois, ist die Peneplain nochmals höher gelegen (P. 1063); dann taucht die Falte endgültig nach W ab und findet sehr bald ihr Ende. — Der Südschenkel des durch die letzte Faltung erzeugten breiten Gewölbes ist zwischen Peu Claude und Chez le Boillat etwas abgespült. Sonst ist die Fastebene meist erhalten; sie legt sich vom Argovien über das Sequan, Kimeridge und Portland in die Mulde von La Chaux d'Abel hinunter, von der her nicht ein einziges Tälchen in sie eingeschnitten worden ist; wir sehen, die Verhältnisse sind ganz andere als im Ostteil der Freiberge. Von Le Peuchapatte an erstreckt sich die Rumpffläche auch über die dort abzweigende Nebenfalte, welche orographisch sich gar nicht heraushebt. So kommt es, daß das Dorf Les Breuleux am Hange gelegen ist, trotzdem der alte Scheitel der Peuchapatte-Antiklinale den direkten Untergrund bildet. (Bei La Theurillatte nördl. Les Breuleux stoßen wir auf eine merkwürdige Denudationsform im Gelände. Die Peneplain ist dort eine Strecke weit zerstört und die Struktur der nach N mit 40^0 aufgerichteten Malmschichten tritt zutage. Dabei setzt jeder der 3 Horizonte, Kimeridge, Sequan und Argovien, am nächstfolgenden ab und läßt ihn ein Stück weiter emporsteigen; die Schichtlehne ist jedesmal etwa über 5 m bloßgelegt, während sich über den Schichtköpfen, z. B. des Kimeridges oder des Sequans eine Abflachung, eine mehr als 100 m weit verfolgbare Terrasse gebildet hat.) — Der Nordschenkel der Falte ist im Gegensatz zum Scheitel und auch zum Südschenkel weithin abgetragen. Er umfaßt nämlich außer dem Nordschenkel der ältern Kette auch deren Kern, der durch die Einebnung bis zum Hauptrogenstein freigelegt worden ist. In dieser ursprünglichen Antiklinale bestehen 2 Kulminationen, die eine südöstl. Peu Péquignot, die andere etwa zwischen Le Boéchet und Les Bois; dazwischen ist das Depressionsgebiet von Le Creux des Biches gelegen, welches nur bis zum Oxfordien aufgeschlossen ist; in den Tonen hat sich dort ein kleines Torfmoor entwickelt. Dadurch, daß nun dieser Doggerkern in den Nordschenkel der in der zweiten Faltung aufgewölbten Kette einbezogen wurde, wurde er etwas schief gestellt; sein

einstiger Argovien-Südschenkel wurde höher gehoben, so daß sich zwischen ihm und der weichen Oxfordzone rasch ein Steilhang bilden konnte, in den sich z. B. von Le Creux des Biches gegen Sur le Peu ein schluchtartiges Tälchen einfraß. Der ursprüngliche Nordschenkel dagegen kam tiefer zu liegen; es entstand, da es sich zudem um das mergelige, wenig widerstandsfähige Argovien und nicht um den harten Rauracienkalk handelte, nicht wie etwa in der Gegend von Les Montbovats ein Schenkelkamm, im Gegenteil, zwischen Le Creux des Biches und Le Boéchet wurde im Argovien sogar eine flache Kombe gebildet, die heute von der Bahn durchzogen wird. Das Vorhandensein eines Doggeraufbruches fällt daher von N her gar nicht ins Auge; das Landschaftsbild wird vollständig von den Höhen von Cerneux dessus und Sur le Peu beherrscht, die das Gebiet von Peu Péquignot und Le Creux des Biches um 100 bis 150 m überragen. In den Oxfordstreifen tieften sich nur an wenigen Stellen Komben ein, z. B. eine geringfügige von Le Creux des Biches-Peu des Vaches nach E, oder eine größere von Outre la Seigne nach La Pautelle und Les Seignes, wo sie sich entsprechend der Spaltung des Gewölbes in zwei kurze Endstücke zu beiden Seiten des Rond Rochat gabelt. — Die Peneplain neigt sich mit ca. 10^0 nach N; sie ist zwischen dem Scheitel der jüngeren Faltung und der schon beschriebenen Platte von Peu Péquignot, d. h. über dem Dogger und dem Oxfordien, gänzlich abgetragen. Westl. von Le Creux des Biches richtet sie sich über die erwähnte Argovienkombe hinweg auf den Sequanrücken von Sur le Gez und Chez Cognai, von wo an sie bis nördl. Combatte du Pau erhalten ist. Weiterhin ist sie am Hange gegen Les Prailats wieder unterbrochen; sie findet sich auf dem Argovien von Le Boéchet bis Chez Chailaz und Sous les Rangs und legt sich über das nach N überschobene Sequan in die Mulde von Cerneux Godat hinunter. In der Gegend von Sous les Rangs und Les Bois ist die Antiklinale in der zweiten Faltungsphase nur noch ganz unbedeutend gewellt worden. Von Cerneux Godat her hat sich nördl. Les Rosées dessous ein ziemlich steiles Tälchen durch Sequan und Argovien eingeschnitten; im Oxfordton — der Dogger ist bereits abgetaucht — ist dadurch eine Kombe geschaffen worden, die sich gegen Les Rosées dessus richtet. — Von Les Bois bis La

Ferrière und ostwärts gegen La Chaux d'Abel hat die Rumpffläche fast keine Verstellung erlitten; einzig in der Nähe der die Mulde von La Chaux d'Abel südl. begrenzenden Ueberschiebung scheint sie — zwischen Crêt brûlé und Les Rochats — etwas gehoben worden zu sein; der Grund dürfte in einer leichten Verstärkung der Ueberschiebung während der zweiten Faltungsphase zu suchen sein. Die Mulde von La Chaux d'Abel zieht sich deshalb heute unmittelbar südl. von Les Bois durch. — Nach W ist an der Stelle des frühern Querbruchs von La Ferrière in der zweiten Dislokationsphase eine sanfte, quermuldenartige Eintiefungszone entstanden, an welcher die Wölbungen von Les Bois und Les Rochats wie die Synklinale von La Chaux d'Abel enden. Infolge des spätern Einschneidens der Combe de la Ferrière von Biaufond her, deren Anlage durch die Quermulde von Anfang an gegeben war, wurde die Fastebene in ihr zerstört; sie findet sich heute noch an beiden Rändern, bei Sur les Rochats, La Ferrière und Le Seignat in 1000 bis 1020 m und jenseits auf dem Plateau von Le Valanvron und auf dem von La Joux Perret bis 1050 m Höhe. Bei Sous le Crêt südl. La Ferrière und bei La Basse Ferrière haben sich von der Combe de la Ferrière Seitentälchen eingeschnitten, deren obere Teile sich z. B. in der Combe Borle vorfinden, wo die Peneplain nicht erhalten ist.

Die Mulde von La Chaux d'Abel, der wir uns jetzt noch zuwenden wollen, zeigt große Aehnlichkeit mit der von Chantereine im N der Les Boiskette, wenn sie auch bedeutend breiter ist. Im S begleitet sie ebenfalls ein Nebengewölbe, die Falte von La Chaux d'Abel, deren Nordflügel auf die gleichnamige Synklinale überschoben ist. Wiederum trat indessen diese unbedeutende Antiklinale in der zweiten Faltungsphase nicht mehr in Erscheinung, sondern sie wurde in die nun noch breitere Mulde einbezogen; erst südlich von ihr steigt die auf ihr vorhandene Rumpffläche gegen die Sonnenbergkette an. Die Ueberschiebungslinie fällt heute wie die bei Peu Péquignot mit einem bis zu 40 m hohen Abhang (bei der Kapelle von Chaux d'Abel) zusammen. Von Cerneux Veusil dessous bis westl. der Tuilerie ist die ursprüngliche, mit Tertiär gefüllte Mulde zum Polje geworden; die Karsterosion hat hier die Peneplain zerstört und die Vertiefung geschaffen, in der sich jetzt ein großes

Torfmoor ausdehnt. Die Ursache des Herauspräparierens der Ueberschiebung liegt wieder beim leicht abzutragenden Tertiär; die Fläche der Kapelle von Chaux d'Abel konnte bestehen bleiben, da sie aus Kimeridge aufgebaut ist. — Begeben wir uns nach SW gegen La Grande Coronelle und Chez les Brandt, so sehen wir dort die Fastebene überall erhalten; ebenso kommt die Rumpffläche im E, in dem weiten, von Lehm bedeckten Gebiet der Forêt et Pâturage de Cerneux Veusils und bis gegen Les Breuleux hin durchwegs vor.

6. Die Sonnenbergkette (Montagne du Droit).

Von La Cibourg an bis zur Pierre Pertuis bildet auf eine Erstreckung von mehr als 20 km die bis 1260 m hohe Sonnenbergkette den Südrand der Freiberge. Schon Brückner beobachtete, daß die Peneplain von N auf ihren breiten Rücken hinaufsteigt. Er suchte sie vom Sonnenberg direkt an den Nordhang des Chasserals hinüber zu ziehen, wo sie ebenfalls, und zwar sehr gut erkenntlich, vorhanden ist. Doch muß man eine Einbiegung in die Mulde von St. Imier, bis auf etwa 950 bis 1000 m annehmen; denn am Nordschenkel des Chasserals findet sich die Rumpffläche bedeutend tiefer als auf der Höhe der Montagne du Droit vor. Im Tale von St. Imier ist sie allerdings überall gänzlich zerstört. Ich möchte hier auf das sehr anschauliche Profil hinweisen, in welchem H. Suter die Peneplain im Zustande vor der letzten Faltung rekonstruiert; daneben ist zum Vergleich ein Profil des heutigen Zustandes wiedergegeben (Lit. 94, S. 35).

Eine so gewichtige Stellung die Sonnenbergkette auch im gesamten tektonischen Aufbau der Freiberge wie im Landschaftsbild einnimmt, so wenig ist verhältnismäßig zu den Einzelformen zu sagen. Die Kulminationspunkte sowohl der ersten wie der zweiten Faltungsphase liegen in der gleichen Gegend, etwa nördl. von St. Imier; nur zieht sich die Scheitellinie des jüngeren Gewölbes etwas südlicher als die der ältern, durch die erste, hauptsächlichste Dislokation aufgerichteten Antiklinale hin. Bis nahe gegen den Südabfall steigt die Peneplain an; der übersteile Südschenkel wurde durch die zweite Faltung wohl

noch schroffer gestellt. Der Nordhang ist sanfter, die Fastbene hier meist erhalten. Nur in dem im Kern auftretenden Argovien — der obere Dogger, geschweige der Rogenstein, kommt mit einer Ausnahme bei La Daxelhofer nicht vor — hat manchmal eine Ausräumung stattgefunden, besonders da, wo von N her sich Tälchen durch das Kimeridge und Sequan gegraben haben. Eine ganze Reihe solcher Einschnitte treffen wir besonders in der Nähe von Cerneux Veusil dessus (Les Combes zu beiden Seiten von Les Allevaux etc.), dann wieder bei Pré Garçon-Place de Dernier zwischen Mont Crosin und Les Breuleux, endlich am Mont Tramelan (nördl. Combe à Nicolas, westl. und östl. von Les Fontaines etc.). In all diesen jungen Erosionsgräben ist die Rumpffläche, die sich sonst wie gesagt über den ganzen Rücken des Berges zieht, zerstört worden.

Nach E gliedert sich von der Sonnenbergkette eine Nebenfalte, die La Rochette-Antiklinale ab, die dann ins Becken von Tavannes untertaucht. Sie ist auch von der zweiten Faltung ergriffen worden; denn die Fastebene steigt von S wie von N bis zu P. 1053 an. Besonders gut ausgeprägt ist die Peneplain auf dem Plateau von La Tanne, wo sie sich über eine Fläche von etwa 1 km² ziemlich eben in 1000 m Höhe ausbreitet. Nach S hebt sie sich zur Hauptkette der Montagne du Droit und ist auf ihr, leicht nach E fallend, bei P. 1129 und bei P. 1077 weithin erhalten. Bei Jean Gisboden und dann besonders bei La Sommersheim und La Schnegg westl. der Klus von Pierre Pertuis setzt sie aus; doch dürfte sie nur sehr wenig höher gelegen haben. Die Antiklinale zeigt hier in der Gegend der Pierre Pertuis eine Einwalmung, die uns sowohl auf der Strukturkarte (Tafel 3) wie auf der Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) in die Augen fällt.

B. Reste der Einebnungsfläche in dem unmittelbar östlich der Freiberge liegenden Gebiet der hohen Juraketten.

Bevor ich an den Versuch einer Deutung der einleitend erwähnten Probleme gehe, möchte ich ergründen, ob sich die Peneplain von den Freibergen auf die anschließenden hohen

Juraketten verfolgen läßt. E. Brückner hat schon Reste davon z. B. am Montoz und am Moron entdeckt und sie miteinander verbunden. Prüfen deshalb auch wir die Verhältnisse:

1. Die Montoz- und Moronkette im Bereich der Kartenblätter Sonceboz und Tavannes.

Besteigen wir den Montoz von der südl. anschließenden Synklinale von La Heutte aus, so erkennen wir gleich, daß wir uns in einem ausgesprochen recenten Erosionsgebiet befinden; bis auf die Höhe der Métairie de Werdt hinauf sind die Schichten entsprechend ihrer Widerstandsfähigkeit herausgehoben oder ausgetieft; die Strukturformen treten überaus klar zutage. Oben überrascht uns eine Fläche, welche fast eben von P. 1253 bis P. 1260 reicht und sich dann nach N wie nach W, weniger steil als der Schichteneinfall neigt; es ist tatsächlich die Peneplain. Nach W können wir sie in ihrer axialen Einwalmung bis Grimm und bis P. 1112 hinunter verfolgen, nach N bis Le Schiltli; dann wird der Hang zu steil, sie ist abgetragen. Nach E wird die Rumpffläche auf dem Kamm bis P. 1303 bei Les Combattes und auch weiterhin nicht unterbrochen.

Etwas anders sind die Verhältnisse am Moron. Auch dort besteht im W, zwischen Bellelay und Le Fuet, eine axiale Depression; aber der Aufstieg auf die Höhe bei Les Vacheries dessus und La Montagne ist nicht so unmittelbar; die Peneplain ist durchwegs erhalten. Jenseits der Combe des Peux, die vom Becken von Bellelay her einschneidet und einer Synklinale entspricht, findet sie sich wieder beim Dörfchen Moron und hinan bis zu P. 1096. Auch am Nordhange von Le Chablet kommt sie mit 8—10° N fallend vor; dagegen fehlt sie in der Eintiefung von La Combe, die mit der der Combe des Peux verbunden ist, und dann nochmals in dem Sattel von Sur la Cernatte-Montagne de Saules. Nicht weggeräumt ist sie bei P. 1120 und dann auf dem ganzen breiten Kimeridge- und Sequanrücken von La Joux und La Montagne. Im ganzen — wir sehen das am besten auf der Isohypsenkarte (Tafel 6) — zeigt die Rumpffläche ein Gefälle nach W in das Becken von Bellelay hinunter. In der zweiten Faltungsphase wurde das Gebiet

zwischen dem Petit Val und dem Tal der Trame als Gesamtes gehoben; nur im W entstand durch die Mulde der Combe des Peux eine geringe Aufspaltung der Antiklinale. Ursprünglich war von der axial nach E ansteigenden Moronfalte im N ein selbständiges Chabletgewölbe losgelöst. — Besonders bei Moron wird uns klar, daß die Fastebene nicht hoch über dem Boden des Tales von Bellelay liegen kann; auch auf der Isohypsenkarte (Tafel 6) tritt uns die Mulde fast schon in ihrer heutigen Form, mitsamt dem Talschluß gegen Les Genevez, entgegen. Sehr wahrscheinlich ist das Becken gleich nach der zweiten Faltungsphase zum Polje mit unterirdischer Entwässerung geworden. Gegen Le Fuet hinüber treffen wir nirgends auch nur eine Spur einer Abflußrinne, und gegen das Petit Val haben nachweislich erst die Mönche des Klosters Bellelay einen künstlichen Ablauf geschaffen. Die Rouge Eau, die in ihrem Oberlauf infolge dieses Durchstichs durch den schwach ausgeprägten Rücken beim Kloster fälschlicherweise Sorne genannt wird, verschwindet demnach schon lange in ihrem Schlundloch; kurz vor der Versickerungsstelle hat sie sich in dem weichen Torfboden einige Mäander geschaffen. Die Karsterosion hat also den Boden des Tales tiefer gelegt und die Peneplain zerstört.

2. Die Raimeux- und Velleratkette im Bereich des Kartenblattes Undervelier.

Wir haben bereits gesehen, daß nördl. von Lajoux in der zweiten Faltungsphase eine Gewölbeablösung zustande kam. Es ist nun sehr interessant festzustellen, daß die von Les Montbovats herkommende Antiklinale der zweiten Dislokationsperiode sich von Moulin Dos le Cras nach NE über die ursprüngliche, weniger wichtige, aber doch gerade hier am meisten aufgestaute Closurekette hinwegrichtet, mit schwachem Axialgefälle gegen Saulcy streicht und sich dann als Velleratkette nach E fortsetzt. In der Gegend des Tabeillontales, das das ältere Velleratgewölbe schräg durchbricht, hat sich in der zweiten Phase als Verlängerung der Synklinale von Plain de Seigne eine Mulde gebildet, die ins Delsbergerbecken mündet und welche dem Tabeillon den Weg vorgezeichnet hat. Erst durch das spätere Einschneiden

des Baches wurden dann die Strukturformen der ehemaligen Velleratkette wieder freigelegt. Wir sehen, die Anlage der jüngern Falten war hier eine vollständig andere als die der ältern; während im Hauptgebiet der Freiberge und auch östl. der Sorneklusen die wichtigern Antiklinalen, wenn auch manchmal mit anderer Scheitellinie nochmals aufgebogen oder leicht gewellt wurden, konnte es im Gebiet von Saulcy und St. Brais direkt zur Ueberschneidung der Faltenachsen kommen. Ich schreibe diese Unregelmäßigkeit dem Einfluß der Sundgaulinie zu, der sich auch in der letzten Faltungsphase noch geltend machte; tatsächlich fällt auch die Störungszone in die Verlängerung der Caquerellekette, welche ihrerseits — siehe die Isohypsenkarte der Peneplain — außer einer nochmaligen geringen Aufbiegung in ihrer Lage nicht verändert wurde.

Bei Sur les Laves und Grosse Closure nordöstl. von Lajoux nimmt seit der zweiten Phase die eigentliche Raimeuxkette ihren Anfang. Bis in die Gegend von Rebévelier findet ein leichter Anstieg, nachher eine Senkung statt; auch die ursprüngliche Antiklinale kulminierte an der gleichen Stelle. Die Rumpffläche ist auf dem flachen Rauracienrücken von Lajoux an zunächst fast überall erhalten, bei Les Cerniers de Saulcy, bei Les Cerniers de Rebévelier wie auf Grosse Closure und bis hinunter nach La Peute Rive. Nach S neigt sie sich über das Sequan in die Kimeridgemulde von Fornet, in deren ziemlich engem Ausgang gegen Lajoux sie wohl ausgeräumt ist; jenseits zieht sie sich auf die Pâturattekette hinauf. Nördl. Grosse Closure hat sich bei La Seigne ein Tälchen von der Synklinale der Combe des Beusses her eingetieft und den dort lokal auftauchenden Oxfordkern leicht ausgewaschen. Eine besonders schöne Uebersicht bietet uns P. 1044 bei Les Cerniers de Rebévelier: von dort blicken wir nach E in den Doggeraufbruch von Rebévelier, den 2 Bäche von Undervelier her anschnitten, nachdem der Rauracien-Nordschenkel durchnagt war; sowohl oberer Dogger wie Hauptrogenstein sind darin aufgeschlossen. Zur Linken ist die Peneplain zwischen den beiden Schlüchtchen noch auf dem Malmabhang von Derrière Bouvrance vorhanden; zur Rechten erstreckt sie sich auf dem Rauracien über den steil

nach beiden Seiten fallenden, oben aber ganz flachen Kamm der Prés de Jean de Souboz bis zu P. 1008; dort, bei Corbon, setzt sie sich auf einem schmalen Streifen — dem Malmschluß des Gewölbes — ein Stück weit nach N fort, wobei sie sich sanft bis etwa 930 m neigt und weiterhin zerstört ist. Oestl. folgt unmittelbar die tiefe Klus der Pichoux. Ueber ihrem obern Eingang dehnen sich die Terrassen von Semplain und Sur la Côte aus, die uns auf den ersten Blick ebenfalls als Reste der Fastebene erscheinen. Es handelt sich indessen um eine durch die ältere Faltung erzeugte Strukturform: es ist die Oberfläche des Kimeridges, welches im Südschenkel eine Knickung und eine kurze Strecke weit ziemlich flache Lagerung aufweist. Immerhin mag auch die durch Abspülung abgetragene, nach S einfallende Rumpffläche nur wenig darüber gelegen haben. Auf dem ganzen Malmrücken von Sur Mont Dedos und Sur la Côte im E der Klus bis über P. 1004 hinaus ist sie aber heute nirgends mehr zu sehen; die Denudation ist zu beträchtlich gewesen.

Im Gegensatz zur Raimeuxkette stimmen bei der Velleratkette die axialen Höhen- und Tiefenpunkte der beiden Faltungen nicht überein. Das jüngere Gewölbe kulminiert im Gebiet von Jolimont und der Klus von Undervelier, während das ältere gerade dort eher eine Depression und dafür zwischen Saulcy und La Racine eine axiale Erhebung zeigt. Die Closurekette, deren Nordflügel stark überschoben ist, tritt mitsamt dieser Ueberschiebung in der Landschaft gar nicht hervor; die Fastebene legt sich von P. 996 her gänzlich über sie hinweg, über Sequan, Rauracien und sogar über das Oxfordien des Kerns. Von der Sequanplatte von Cras des Mottes gelangen wir längs der Straße von Lajoux nach Saulcy rasch ins Rauracien und dann in den Kern der Antiklinale. Auf der Höhe von Saulcy bis La Racine und auch am sanften Hang von Longs Champs und Pré des Pierres hat sich dort die Peneplaine auf dem Rogenstein erhalten; bei Saulcy fällt sie leicht nach N ein; ihr Scheitel verläuft bei P. 960 auf dem Rauracien und zieht sich dann gegen La Racine hinüber. Im Oxfordien sind überall Komben ausgeräumt worden, auf der ganzen Nordseite und auch im S — westl. von Saulcy — vom Tabeillon, östl. des Dorfes vom Bach von Undervelier her. Unterhalb der Combe

ès Monin sind dabei in dem dort stark abgetragenen, steil nach S einfallenden Rauracien 2 Lücken entstanden. Nach E findet sich die Peneplain nochmals auf dem Gewölbeschluß von La Louvrière-Jolimont in 970—1000 m Höhe, dann nicht mehr bis jenseits der Klus von Undervelier, wo sie auf dem hohen, nordwestl. über Undervelier aufragenden Berg bei P. 1023 vorkommen dürfte.

3. Das Gebiet von St. Brais und die Caquerellekette.

Die Gegend von St. Brais ist durch ihren ziemlich komplizierten Aufbau gekennzeichnet. Sowohl von Saulcy wie von NW, etwa vom Clos du Doubs her, fällt uns die starke Einsattlung auf, in welcher in ca. 970 m Höhe das Dorf liegt (Figur 7). Zu beiden Seiten steigen die schroffen Rauracienwände an, nach SW gegen Le Plain (1058 m), nach NE gegen die Fläche von Bois Banal (1056 m). Eine nähere Untersuchung ergibt unzweifelhaft, daß die Lücke durch die Tektonik begründet ist. In der ersten Faltungsphase entstand die St. Braiskette, die von Soubey über Montfavergier nach E streicht und in der Gegend von Ban dessous nach NE umbiegt. Sie zeigt axiale Höhepunkte zwischen Montfavergier und St. Brais und dann wieder an der Montagne de Sceut, während gerade an der Umbiegungsstelle eine Depression vorliegt; hier ist durch die Einebnung das Rauracien in dem bei Montfavergier und Sceut bis zum Rogenstein abgedeckten Scheitel nicht zerstört worden. Die Höhe von Bois Banal gehört dem Nordschenkel, die von Le Plain dem Südschenkel und zugleich der hier kulminierenden Mulde von Les Sairins an; in dieser ist von Les Sairins dessous an das Kimeridge, von Le Cerneux-Bennat an das Sequan entfernt; infolgedessen bildet bis wenig oberhalb der Bahnstation der Combe Tabeillon das Rauracien den Kern. Man gelangt darum vom Nordschenkel der St. Braiskette bei Pré Sergent-Ban dessus immer auf dem Rauracien bis in den Nordschenkel der Velleratkette unweit Saulcy. Die Velleratkette ist zwischen Les Rottes und Saulcy auf eine verhältnismäßig schmale Zone längs einer Verwerfung beschränkt; der aufgeschlossene Kern besteht von Les Seignattes-Enson la Fin bis Dos les Barres aus oberem

Dogger, dann aus Hauptrogenstein (Steinbruch an der Bahnlinie unterhalb Station Saulcy); am Osthang des Tabeillontales tritt sogar unterer Dogger auf. Der Südschenkel der Antiklinale ist bei Sur Moron-Champ du Plaine etwas stärker entwickelt; jenseits der bis gegen die Station Saulcy reichenden Mulde, in der der Tabeillon entspringt, steigen wir gegen Sur les Roches auf die von einer Verwerfung durchzogene Closurekette an; sie taucht bei der Station Lajoux von W aus der Mulde von Plain de Seigne auf; in ihr ist vom Moulin Bollmann, d. h. vom recenten Erosionstal des Tabeillon her das Oxfordien aufgeschlossen und zu einer Kombe eingetieft. Endlich gelangen wir über den nur schwach ausgeprägten südl. Ast der Mulde von Plain de Seigne in den Nordschenkel der Raimeuxkette.

Prüfen wir nun, wie sich die Einebnungsfläche zu diesen in der ersten Faltungsphase angelegten Antiklinalen und Synklinalen verhält. Westl. von St. Brais finden wir sie auf der Rauracienhöhe von Le Plain (1058 m); wir sehen, daß sie sich von dort nach allen Seiten neigt. Nach W senkt sie sich ununterbrochen sehr sanft gegen Les Sairins, wo wir sie bereits festgestellt haben. Nach S besteht ein Gefälle von etwa 4—5° bis an den Rand des Ausräumungsgebietes von Enson la Fin. Ziehen wir die Linie mit gleichem Einfallen darüber hinweg, so kommen wir direkt nach der Fläche von Sur Moron; dort ist die Peneplain wieder erhalten; sie senkt sich bei Champ du Plaine stärker (8—9°) in die Tabeillonmulde oberhalb der Station Saulcy. Jenseits treffen wir sie wieder bei Sur les Roches; sie legt sich ansteigend über die nicht hervortretende Closurekette und auf den Malmnordschenkel der Montbovats-Raimeux-Antiklinale; auf dem Sequan läßt sie sich nach E bis nach Grosse Closure verfolgen, wo wir von ihrem Vorhandensein schon Bescheid wissen. — Wir erkennen, daß die Closurekette in der zweiten Faltungsphase nicht mehr gewellt wurde; es entwickelten sich östl. Plain de Seigne nicht mehr 2 Muldenäste, sondern es entstand nur eine Synklinale an der Stelle des ehemaligen nördl. Zweiges, die dann, wie auch ihre Fortsetzung bei Plain de Seigne, durch den Tabeillon ausgeräumt wurde. Die Fastebene ist in dieser Mulde nur auf dem Kimeridge-Sporn von P. 893 nordwestl. über der Station Lajoux erhalten; sie richtet sich von dort nach S gegen Gros Montcenez, nach N

über das Tälchen von Au Senneut hinweg gegen Les Pontenets, Pré dessous und Pré dessus (P. 970—1006 bei Pré dessus). Nördl. Enson la Fin, wo die ursprüngliche Velleratkette sehr stark an die St. Braiskette angepreßt und ihr Nordschenkel durch die erwähnte Verwerfung gebrochen ist, ist es sehr wahrscheinlich, daß sich in der zweiten Dislokationsphase an Stelle des Vellerat- und St. Braisgewölbes nur eine schwache Falte mit einem axialen Höhepunkt bei Le Plain gebildet hat; etwas westl. davon, bei Les Sairins, ist die Wellung fast gar nicht ausgeprägt (Tafel 4, Profil C), während weiterhin gegen Montfaucon die alte Velleratkette und bei Soubey die alte St. Braiskette nochmals wenig aufgefaltet wurden. Bei St. Brais wurden demnach die beiden ältern, bis zum obern Dogger freigelegten Antiklinalen zusammen gehoben, wobei die aus Rauracien bestehende ursprüngliche Mulde von Le Plain am höchsten zu liegen kam.

Es interessiert uns nun, ob östl. von St. Brais, wo die beiden ursprünglichen Gewölbe infolge des Abdrehens der St. Braiskette wieder auseinanderstreichen, auch in der zweiten Faltungsphase wieder 2 gesonderte Antiklinalen entstanden. Wir beobachten hier, daß die Rumpffläche von allen Seiten gegen das Tabeillontal einfällt. Von Le Plain läßt sie sich nach E nach Le Péquie verfolgen, wobei sie oberhalb der Straße von St. Brais nach Montfaucon nachträglich etwas abgespült wurde. Dann zieht sie sich immer auf dem Rauracien des ehemaligen Muldenkerns, hinunter nach Le Plaignat und bis zu P. 894 über dem Tabeillon. Nördl. des Doggerkerns neigt sich die Peneplain von Ban dessus (P. 962) bis auf den Rauraciensporn bei P. 908, welchen die Straße St. Brais-Sceut in einem Tunnel durchbricht, ebenfalls gegen den Tabeillon, wenn auch weniger stark. Auf der andern Talseite konstatieren wir ein leichtes Gefälle nordwestl. Cras des Mottes und von Saulcy zu P. 887 und P. 890. Es ist nun sehr unwahrscheinlich, daß bei der jüngeren Faltung in der Gegend von St. Brais von dem Gewölbe von Le Plain eine Caquerellekette nach NE und eine andere Zweigwellung nach E gegen Saulcy ausstrahlten, wovon die zweite gleich eine äußerst starke axiale Einwalmung erfuhr; vielmehr müssen wir annehmen, daß sich nur eine Antiklinale bildete, die sich von Le Plain hinüber zum Bois Banal (1056 m) und

dann weiter gegen die Caquerelle richtete. Die Falte von Saulcy hängt ja, wie sich aus den Gefällsverhältnissen der Fastebene bei Cras des Mottes und Plain de la Cernie einwandfrei ergibt, mit der von Les Montbovats direkt zusammen und zeigt kaum Beziehungen zu der von Le Plain. Wir erkennen also, daß das Einfallen der Peneplain gegen das Tabeillontal durchaus dem Einfallen der Gewölbeschenkel der jüngeren Ketten entspricht. In der auf diese Weise neu geschaffenen Mulde, welche die in der ersten wie in der zweiten Faltungsphase entwickelten Synklinalen von Plain de Seigne-Station Saulcy und von Combe Tabeillon-Glovelier miteinander verband, konnte ohne weiteres ein Gewässer, eben der Tabeillon, seinen Lauf anlegen und sich dann eintiefen. Der ursprüngliche, W-E, d. h. quer dazu streichende, bis zum Callovien aufgeschlossene Antiklinalkern wurde von beiden Seiten, vom Tabeillon wie von dem sich eintiefenden Doubs her, bis zum Scheitel des jüngeren Gewölbes bei St. Brais ausgeräumt, die Rumpffläche in seinem Bereich überall zerstört. Die Lücke von St. Brais entstand so an der Kreuzungsstelle der Scheitel der beiden Faltenzüge. Bezeichnend ist dabei, daß das Rauracien nur an der am höchsten aufgerichteten Stelle bei Le Chésal und St. Brais in Felswänden gegen die denudierte Oxford- und Callovienzone abbricht.

Von der Höhe des Bois Banal zieht sich die jüngere St. Brais-Caquerellekette nach NE. Sie zeigt zunächst ein axiales Einsinken nach Ban dessus und dann bei P. 1007 nochmals eine kleine Wellung. Die Peneplain erstreckt sich hier im Rauracien und teils im Sequan über eine ziemlich weite Fläche, von Ban dessus 962 bis Pré Sergent 891, bis zu den Höfen Neuve Coperie und Graitery und bis zu P. 902 im NE; sie senkt sich dabei gegen das Doubstal. — Von La Seigne dessus an fallen die Scheitellinien der beiden Antiklinalen ungefähr aufeinander; diejenige des jüngern Gewölbes hält sich, wenn auch vielfach abgetragen, im Niveau von etwa 900 m und weist bei Chez Basuel eine letzte geringe Kulmination auf. Die Fastebene findet sich von La Seigne dessus bis etwas nordöstl. P. 912 der Montagne de Sceut auf dem Rogenstein und setzt dann bis P. 902 bei Chez Basuel aus; dagegen ist sie wahrscheinlich bei P. 756 (La Morée) und nördl. der Combe du Bé auf einem kleinen

Teil des dort ziemlich flach einfallenden Sequans des Südschenkels erhalten. Die ältere Falte ist von Sceut dessous an bis zum Hauptrogenstein aufgeschlossen und von La Seigne dessus an bis zur Caquerelle auf die nördl. folgenden Synklinalen des Doubstales und von Malrang überschoben. Besonders am Bergrücken zwischen Glovelier und Montmelon, wo die Rumpffläche fehlt, bestimmen durchwegs ihre Strukturformen das Landschaftsbild; die harten Gesteinsschichten, das Rauracien und der Hauptrogenstein, wurden von der Erosion als Kämme herauspräpariert; in den weichen Oxfordtonen dazwischen wurde dagegen eine langgestreckte, sehr gut ausgeprägte Kombe angelegt, nachdem der Bach der Combe du Bé bei Moëbrai das Rauracien durchsägt hatte. Die Ausräumungszone läßt sich heute von Sceut dessous über Glacenal, Moëbrai nach Montrueslin und weiter bis zum Gewölbeschluß der Caquerelle verfolgen, wo sie gegen die von St. Ursanne her eingetiefte Combe Chavat umbiegt. Am Nordschenkel ist das Oxfordien infolge der Ueberschiebung meist ausgequetscht; dafür entstand bei Montmelon in den durch die recente Erosion des Doubs freigelegten Unter-Dogger-Mergeln und Opalinustonen des Kerns der Antiklinale eine Ausweitung. Nordöstl. auf der Höhe von Chez Danville und Chez Basuel ist der Rogensteinscheitel, etwa 2½ km weiter bei der Caquerelle auch der Rauracienscheitel geschlossen. Hier ist auch die Peneplain und damit die Oberfläche der jüngeren Faltung wieder vorhanden; sie kulminiert in 950—960 m bei Chez Basuel und fällt nach W gegen Chez Danville (885); dort legt sie sich über die Ueberschiebungslinie hinweg ins Rauracien (bis P. 821,5). Von P. 944 besteht ein schwaches Axialgefälle sowohl nach SW, wo die Fläche bis zu P. 902 nicht unterbrochen ist, als nach NE gegen die Caquerelle auf 830 m. Im Callovien und Oxfordien des Hanges von La Joux und der Combe Chavat fehlt die Fastebene; sie kommt dagegen im Rauracienschenkel bei P. 954 und wieder von der Roche au Vilain (P. 887) bis zum Plateau von La Caquerelle vor; nördl. davon, über der Einsattlung von Les Rangiers, ist sie bis hinauf nach Les Ordons (999 m) zu ergänzen. Die Gegend von Les Rangiers und Les Malettes wurde von 3 Seiten, vom Doubstal, vom Delsbergerbecken und von der Ajoie her durch Bäche angenagt, so daß sich hier wichtige

Paßübergänge bilden mußten. — Das jüngere Caquerellegewölbe legt sich ohne Störungen einfach an die ihm entsprechende jüngere Les Rangierskette an, welche sich nach W in die Montterrikette fortsetzt. Auf ihr ist die Rumpffläche von Les Ordons nach E bis über die Haute Borne hinaus erhalten, nach W bei Montgremay, auf Sur Plainmont nördl. St. Ursanne, bei der Vacherie Mouillard etc.

4. Das Clos du Doubs.

Wie wir bereits wissen, setzt sich der auf schweizerischem Gebiet gelegene Teil des Clos du Doubs zwischen Soubey und Ocourt aus 2 Antiklinalen, östl. von Epauvillers indessen nur mehr aus einem Gewölbe zusammen, das dann in der Gegend des Doubsdurchbruches abtaucht. Es handelt sich dabei um die in der ersten Faltungsphase gebildeten Ketten, von denen die nördl. Epiquerezkette bei weitem die wichtigere ist. Das südl. angelagerte Montmiroirgewölbe tritt in der Landschaft nicht hervor; die zweite Faltungsphase ergriff beide Antiklinalen zusammen und hob sie empor, wobei die Scheitellinie mit der der ältern Epiquerezkette zusammenfiel. Diese jüngere Falte kulminiert von W Epiquerez bis gegen Epauvillers in etwa 900 m Höhe und senkt sich dann ebenfalls axial nach E gegen das Doubsknie; östl. davon muß die Peneplain an der Caquerellekette allmählich aufgestiegen sein. Heute ist im ganzen Gebiet von St. Ursanne und Montenol die Rumpffläche abgetragen; überall sind die Strukturformen der ersten Faltung ausgebildet. Die Fastebene ist einzig im W noch vorhanden, z. B. mit ca. 3—4° nach S einfallend auf der Sequanplatte von Surmont-Pâture d'Amont, oder, gleichfalls am Südschenkel, auf dem Rauracien und Sequan der Pâture des Plaines (Gefälle ca. 8°). Auf dem Scheitel findet sie sich noch südwestl. Epiquerez (P. 897,5 bei Champ sur la Côte). dann von Le Bambois (910 m) bis Le Carron (912 m), und wieder, stets auf dem Dogger, vom Hofe Enson Paroisse (904 m) ununterbrochen bis zur Fläche von Chez le Sec-Chez Bouvier-Chez le Chat; endlich treffen wir sie nochmals jenseits des ausgeräumten Oxfordgebiets von Chez le Baron auf der nach allen Seiten steil abfallenden Höhe von

Chetelat-Grand Essert, wo sie sich auf kurze Strecke über die Malmkalke des Südschenkels ausbreitet. — Besonders schön ist die Peneplain am Nordschenkel des Clos du Doubs nördl. von Epiquerez erhalten; von La Gretsch neigt sich dort das Rauracien mit ca. 15—20° nach N gegen Champs Derrières und ist dann auf das Kimeridge überschoben; die Rumpffläche senkt sich indessen nur mit etwa 10° und legt sich über die Ueberschiebung hinweg, was wir besonders gut in dem den ganzen Querschnitt freilegenden Tälchen von Bremoncourt nach Frénois beobachten können. Deutlich erkennen wir hier, daß die Peneplain nachträglich schiefgestellt worden ist. Oestl. von Champs Derrières hört die Ueberschiebung auf; bei Montpalais erstreckt sich die Fastebene über alle 3 Malmkalkhorizonte (Rauracien, Sequan und Kimeridge), die hier nun wesentlich steiler einfallen als das Rauracien bei Champs Derrières.

C. Die Entstehung der Rumpffläche.

Wie wir sehen, setzt sich die Rumpffläche von den Freibergen her nach E auf den Scheiteln der hohen Juraketten fort; auch das heute stark durchtalte Gebiet von Undervelier, Moutier und Delsberg ist demnach einst wie die Freiberge eingeebnet gewesen. Die Peneplain zeigt sich außerdem auf den Schenkeln der Falten und zwar ist sie dort stets gegen die Mulden geneigt. In den Synklinalen allerdings suchen wir mit einer Ausnahme vergeblich nach einem etwaigen Relikt von ihr; die Erosion hat sie gänzlich weggeräumt. Die Ausnahme betrifft das Delsbergerbecken; dort sind ihre Spuren nicht überall verwischt; sie liefern uns sehr wesentliche Anhaltspunkte zur Festsetzung des Alters der Fastebene.

Der Unterschied zwischen den Freibergen und dem übrigen Berner Kettenjura beruht, wie ich schon in der Einleitung sagte, auf einer gewissen Verschiedenheit in der Faltung: die Mulden greifen auf der Hochfläche bedeutend weniger tief ein als östlich davon, wo wir die großen Tertiärbecken finden. Steinmann (Lit. 92) nannte den südl. der Rheinebene liegenden Abschnitt des Gebirges „Rheintalischen Jura"; er glaubte, das Gebiet habe vor der Orogenese als Fortsetzung des Rheintal-

grabens tiefer gelegen als die somit den Vogesen und dem Schwarzwald entsprechenden Gegenden westl. und östl.; es sei von ihnen durch 2 Brüche oder Flexuren, den Verlängerungen der Vogesen- und der Schwarzwaldverwerfung gegen den Graben, getrennt gewesen. Auf den ersten Blick scheint diese Annahme vieles für sich zu haben: die beiden Störungslinien, die „Vogesen"- und die „Schwarzwaldlinie", begrenzen heute das Delsbergerbecken in seiner Ausdehnung; die Vogesenlinie fällt mit dem Faltenknoten der Caquerelle, die Schwarzwaldlinie mit dem Ostrand des Laufenerbeckens und mit dem sehr komplizierten Aufbau der Gegend der Hohen Winde zusammen; auch die Herausbildung des Gegensatzes zwischen dem Rheintaler Jura und den Freibergen läßt sich damit in Beziehung bringen etc. Prüfen wir indessen die Verhältnisse im einzelnen, so kommen wir zu ganz andern Ergebnissen. Die Vogesenlinie müssen wir ablehnen (siehe S. 22); dagegen haben die Schwarzwaldlinie und die ebenfalls von Steinmann angenommene Sundgaulinie so gut wie sicher einen Einfluß auf die Tektonik des entstehenden Gebirges ausgeübt. Der heutige Rheintalische Jura — der Begriff an und für sich scheint mir nicht unpassend — kann allerdings unmöglich noch kurz vor der Faltung niedriger als die im E und W benachbarten Landschaften gewesen sein, da, wie wir sehen werden, schon zur Miocaenzeit weite Einebnungsflächen vorhanden waren und sowohl das Helvétien als das Torton mit aufgerichtet wurden. Eine derartige Senke bestand nur im mittleren bis oberen Stampien: wir haben sie unter dem Namen „Raurachische Senke" kennen gelernt. Damals setzte sich der Rheintalgraben nach S fort; er war indessen schon am Ende des Stampiens mit Molasse alsacienne und Delsbergerkalk ausgefüllt.

Betrachten wir nun die Karte der Ausbreitung der verschiedenen Tertiärhorizonte (Tafel 2a). Sie zeigt uns, daß weitaus der größte Teil der Freiberge während des ganzen Oligocaens und noch im untern Miocaen (Burdigalien) trocken lag. Der Rheintalische Jura hingegen war zum Teil schon im untern Stampien, vor allem aber zur Zeit der Molasse alsacienne und des Delsbergerkalkes ständig Sedimentationsgebiet; im Burdigalien war etwas weniger als die südl. Hälfte überflutet. Auch im Val de St. Imier finden wir sowohl Delémontien als Burdigalien

vor, während Helvétien und Torton in den Freibergen so gut wie östl. und südl. davon verbreitet waren. Die Mächtigkeit des gesamten Tertiärs ist also in den Freibergen sehr wesentlich geringer als im übrigen Berner Jura. Unschwer können wir uns vorstellen, daß bei der Faltung diese Unterschiede sich bemerkbar machten: mächtiges Tertiär verursachte die Bildung großer Falten, die sich sowohl hoch emporwölbten als auch in den Synklinalen tief hinab griffen. Da wo hingegen nicht viel Tertiär vorhanden war, wurden vor allem die Mulden enger; die Malmkalke bogen viel weniger weit unter der Oberfläche vom absteigenden zum aufsteigenden Ast um, während sie in den Antiklinalen ungefähr in gleicher Höhenlage kulminierten wie der Malm der Gebiete mit viel Tertiär; denn die Mächtigkeiten der aus oberer Trias und Jura bestehenden Gewölbekerne blieben sich ja in beiden Fällen gleich; die tertiären Muldenkerne dagegen waren verschieden. So kam es, daß nach der Entfernung des Tertiärs von den Antiklinalscheiteln diese da wie dort annähernd gleich hoch waren. In den Synklinalen indessen, in denen das Tertiär zunächst erhalten blieb und dann z. T. ausgeräumt wurde, entstanden die Gegensätze, die heute das Landschaftsbild so sehr beeinflussen. Ich bin überzeugt, daß der eigentliche Grund der geschilderten Unterschiede in der verschiedenen Mächtigkeit des Tertiärs zu suchen ist; denn wir finden ja nicht nur im Gebiet der ehemaligen Raurachischen Senke tiefe Muldentäler, sondern auch in dem an das Mittelland grenzenden Teil des Jura (Val de St. Imier, Val de Travers etc.). Schon L. Rollier war übrigens dieser Ansicht (1er suppl.). A. Buxtorf (Lit. 15) spricht die größeren Dimensionen der Ketten gegen S dem immer mächtiger werdenden Tertiär zu; er kommt dabei zum Schluß, daß die Faltung von N nach S fortgeschritten sei; eine immer größere Sedimentserie sei von ihr ergriffen worden, bis die Mächtigkeit im Mittelland schließlich zu groß war, als daß der alpine Druck ausgereicht hätte, sie zu falten.

Die wechselnde Mächtigkeit des Tertiärs, welche die verschiedenartige Ausgestaltung namentlich der Synklinalen der Freiberge und des Rheintalischen (und südlichen) Jura zur Folge hatte, machte sich natürlich schon in der ersten Faltungsphase geltend. Die Mulden wurden im Rheintaler Jura breiter

angelegt; auf einer Strecke von ca. 15 km queren wir heute zwischen Bassecourt und Péry 4 Antiklinalen, zwischen dem Doubs bei Clairbief und Courtelary dagegen 6 Gewölbe und die entsprechenden Mulden. Durch die Einebnung wurden aber alle Höhendifferenzen aufgehoben; erst in der zweiten Faltungsphase entstanden sie neu. Die Wellung war infolge der schon vorhandenen breiten, mit Tertiär gefüllten Synklinalen der ersten Dislokation im Rheintaler Jura nun ungleich stärker als in den Freibergen; während sie sich dort fast gar nicht ausdrückte, schuf sie hier breite Wannen, welche von den Gewölberücken um 200—400 m überragt wurden.

Ich habe bis jetzt stets die Brückner'sche Theorie von der Zweiphasigkeit der Faltung mit dazwischen liegender Einebnung zur Voraussetzung genommen und ihre Richtigkeit damit begründet, daß man z. B. bei Montfaucon oder am Clos du Doubs die Peneplain nach einer Seite einfallen und gleichzeitig über stärker geneigte Gesteinsschichten transgredieren sieht. Ich bin mir dabei bewußt, daß auch durch Denudation an Abhängen geneigte Flächen entstehen können, welche die Schichten schneiden. Einen bessern Beweis für die zweite Phase, d. h. für die Wellung und teilweise Schiefstellung der Rumpffläche gibt uns folgende Tatsache: In den Muldentälern des Rheintalischen Jura oder des Val de St. Imier etc. sind die tertiären Sedimente wohl sehr mächtig, aber anderseits, auch wenn man die erodierten Teile hinzudenkt, doch nicht so mächtig, daß damit die ganzen Synklinalen bis ins Niveau der eingeebneten Gewölbescheitel und der Freiberge (1000—1200 m) hinauf einst hätten angefüllt sein können. Z. B. liegen im westl. Delsbergerbecken die jüngsten tertiären Schichten, die pontischen Vogesenschotter des Bois de Raube, in ca. 500—600 m Höhe; über ihnen folgen keine Ablagerungen mehr. Entweder haben nun die Schotter ursprünglich bis ins Niveau der Caquerelle (830 m) hinauf gereicht und sind zum größten Teil (d. h. eine über 200 m mächtige Masse) weggeräumt worden, was mir als ganz ausgeschlossen erscheint, oder die Fastebene senkt sich von der Caquerelle auf mindestens 600 m hinunter. Aehnliche Beispiele finden sich, wie wir aus der Tabelle auf Seite 67 ersehen, in allen andern großen Tertiärmulden, wenn man auch meist die jüngsten, nicht erhaltenen Schichtglieder ergänzen muß.

Zwangsläufig ergibt sich demnach eine nachträgliche Wellung der Peneplain, d. h. eine zweite Faltungsphase, es sei denn, man lehne die ganze Einebnung überhaupt ab; doch zeigen uns vor allem die gekappten Gewölbe (siehe die Profile) ganz unzweideutig, daß eine Rumpffläche vorhanden ist. Die heutige Höhenlage der Fastebene über den Synklinalen, wie ich sie in den Profilen (Tafel 4) und auf der Isohypsenkarte (Tafel 6) angenommen habe, ist allerdings sehr hypothetisch; z. B. kann eine geringe nochmalige Aufwellung der bei der Hauptfaltung geschaffenen Antiklinale von Orange im Becken von Tavannes durchaus im Bereich der Möglichkeit liegen.

Es stellt sich nun die Frage, wie die Peneplain gebildet worden ist. Es gibt 3 Möglichkeiten:

1. Marine Abrasion.
2. Karsterosion.
3. Subaërische Denudation = fluviatile Abtragung.

Die marine Abrasion müssen wir von vorne herein ablehnen, da marine Ablagerungen vollkommen fehlen.

Die Karsterosion wird vor allem in den Arbeiten von A. Hettner (Lit. 51) und D. Jaranoff (Lit. 53) befürwortet. Hettner beschränkt sich im wesentlichen auf eine Schilderung des heutigen Zustandes der Oberfläche. Ihm scheint der Charakter des Jura als der eines Kalk- und Karstgebirges vielfach nicht genügend beachtet zu werden; er zeigt sich nicht nur in kleinen Einzelheiten, sondern ebensosehr in den größten Zügen der Bodengestaltung (unterirdischer Abfluß etc.). Die Verebnungen dehnen sich nicht weit aus und wechseln mit steilen, oft felsigen Hängen, was einer allgemeinen gegen den Meeresspiegel gerichteten Fastebene widerspricht. Auf einer Peneplain müßte auch ein normales Flußnetz entwickelt sein; Flüsse und Bäche sieht man in den Freibergen indessen nur in tief eingeschnittenen Tälern, die entweder nach rückwärts erodiert worden sind oder bei denen es sich um eingestürzte Höhlengänge handelt (z. B. Doubstal).

Im Gegensatz zu Hettner befaßt sich Jaranoff ausführlich mit der Entstehung der Verebnungen. Nach seiner Ansicht bilden sich in dem unreinen Kalk des Doggers und des Malms Dolinen, welche nur selten eine normale Tiefe erreichen, son-

Tabelle der Mächtigkeit des Tertiärs und der möglichen Höhenlage der Rumpffläche im Berner Jura.

	Bois de Raube (Delsbergerbecken)	Undervelier	Malleray (Mulde v. Court)	Tramelan	Courtelary (Val de St. Imier)	La Chaux d'Abel	La Chaux-de-Fonds
Differenz	200—350 m	ca. 350 m	ca. 350—400 m	ca. 50—150 m	ca. 200—250 m	ca. 90—250 m	ca. 100 m
Höhe der anstossenden Gewölbe	999 m Les Ordons 836 m Caquerelle	1023 m Jolimont 1044 m Cernies de Rebévelier	1340 m Moron 1330 m Montoz	1189 m Prés de la Montagne 1057 m nördl. Les Reussilles 1130 m Montagne du Droit	1221 m Montagne du Droit	1145 m westl. Le Peuchapatte 1291 m Mont Soleil	1240—1281 m Pouillerel
Höhe, die die Rumpffläche maximal haben kann	ca. 640 m	ca. 680—700 m	ca. 950—1000 m	ca. 1000—1030 m	ca. 1000 m	ca. 1055—1060 m	ca. 1140 m
Mächtigkeit der noch folgenden Tertiärschichten	Wenige Meter Bois de Raube-Schotter	ca. 20—30 m Pontien ca. 50 m Torton ca. 20 m Helvétien	Pontien nur wenig abgelagert Hypothetisch ca. 150—200 m Torton angenommen	Pontien nur wenig abgelagert Hypothetisch ca. 50—80 m Torton ursprünglich vorhanden	Pontien nicht vorhanden gewesen Hypothetisch ca. 150—200 m Torton ursprünglich vorhanden	Pontien kaum je vorhanden gewesen Hypothetisch ca. 30 m Torton (nur wenig mächtig) ca. 25 m Helvétien	Pontien nicht vorhanden gewesen Hypothetisch ca. 100—120 m Torton ursprünglich vorhanden
Höhenlage des höchst erhaltenen Tertiärs im Muldenkern	625 m Bois de Raube-Schotter	593 m Helvétien von Le Mentois ca. 35 m mächtig (nach Birkhäuser)	782 m Torton (Oehningerkalk) 45—50 m mächtig Horizont c—h des Golat (nach Schlaich)	940—950 m Torton (hauptsächlich Kalknagelfluh) ca. 200 m mächtig (nach Forkert)	819 m Torton (Oehningerkalk) von Rainson ca. 30 m mächtig	1000 m Helvétien ca. 20 m mächtig	1026 m Torton (Oehningerkalk) der Mulde von Le Locle ca. 110 m mächtig

dern durch Rückstände des chemisch gelösten Kalkes rasch verstopft werden. Die Rückstände schaffen eine lehmig-tonige Decke, welche bei Durchfeuchtung sehr beweglich ist; die Sohle der Doline wird schließlich völlig eingeebnet. Die einzelnen flachen Dolinen greifen ineinander; ihre Ränder erhalten eine zerhackte Gestalt und verschwinden zum Teil ganz. Besondere Bedeutung für die Karstdenudation mißt Jaranoff dem lokalen, in dem undurchlässigen tonigen Boden der vollständig verstopften Doline erzeugten Grundwasserspiegel zu, mit dem die nicht selten auftretenden Moore zusammenhängen. Fast alle Entwicklungsstufen — von der isolierten flachen Doline bis zu der 2 km langen und 1 km breiten Verebnung — sind eng an die Scheitel der Kofferfalten gebunden, wo die Kalkschichten mehr oder weniger horizontal liegen und nur ein schwaches Relief vorhanden ist. Als Beispiele nennt Jaranoff aus unserem Gebiet die Doggeraufbrüche von Rebévelier, Saulcy und Lajoux (wohl Moulin Dos le Cras); wenn sie nicht als geschlossene flache Karstwannen erscheinen, sagt er, so liegt das daran, daß sie nachträglich durch Flankentäler an das allgemeine Gewässernetz angegliedert worden sind. Auch die Komben sind reine Karstverebnungen mit unterirdischer Entwässerung; sehr oft sollen Sohle und Ränder aus unreinem Kalk bestehen; durch Karstdenudation von den unterirdischen Abläufen aus sollen später zum Teil die oberflächlichen Flankenanrisse geschaffen worden sein. — Jaranoff scheint es unmöglich, in den Freibergen eine einheitliche Rumpffläche festzustellen; es handelt sich nach ihm vielmehr um viele selbständige abflußlose Karstwannen mit zahlreichen Denudationsresten dazwischen; der Jura befindet sich noch in seinem ersten Erosionszyklus. Da die Achsen der Kofferfalten keine großen Amplituden zeigen, finden sich die Verebnungen stets in ungefähr gleicher Höhe, in etwa 900—1200 m, d. h. auf den etwas höher gehobenen Antiklinalen liegen sie lokal ebenfalls etwas höher. Auf den komplizierter gebauten Gewölben, bei denen nicht nur auf den Scheiteln die Schichten flach gelagert sind, kommen sie zum Teil stufenartig in verschiedener Höhenlage vor. Man darf sie nicht als verstellte Teile einer früheren einheitlichen Peneplain ansehen; weder Verwerfungen noch Flexuren sind dazwischen vorhanden und auch die Annahme einer zweiten Faltung ist nicht am Platze;

„eine solche hätte die Verebnungen nicht nur untereinander verstellen, sondern auch schief stellen müssen, was nicht der Fall ist". Die einzige Lösung des Problems erblickt Jaranoff darin, daß jede Verebnung im Kettenjura für sich eine selbständig entwickelte Karstwanne darstellt.

Meine Untersuchungen in den Freibergen ergeben nun durchwegs eine Widerlegung der Theorien Hettners und Jaranoffs. Wie wir wissen, sind sämtliche Doggeraufbrüche der Freiberge nach außen geöffnet; es trifft dies für den ganzen Schweizer Jura überhaupt zu. Wo wir auch hinschauen, stets finden wir einen Ausgang aus den in den Gewölbekernen entstandenen Kesseln oder aus den Komben. Denken wir nur z. B. an das Tälchen, welches sich vom Weiher von La Gruyère in die Mulde von Le Cernil verfolgen läßt, oder an die Einschnitte in den Malmschenkeln der Montbovatskette. Die freigelegten Doggerkerne und Oxfordkomben machen den Eindruck von ausgesprochenen Ausräumungszonen, die durch die Erosion oberflächlich fließender Gewässer geschaffen worden sind; Einebnungen treffen wir in ihnen außer dem nachträglich in den weichen Tonen des Oxfordiens angelegten Moorböden keine; diese finden sich auf den beidseitigen Malmschenkeln, auf dem Hauptrogenstein nur da, wo er etwas höher als mindestens einer der beiden Malmkämme emporragt. Gegen die Annahme Jaranoffs, die Karsterosion sei von den Gewölbescheiteln aus gegangen, auf denen die Schichten flach liegen, spricht die Tatsache, daß Dolinen selten in den Kalken desselben Horizontes allein vorkommen, sondern fast immer an die Grenzlinie zweier morphologisch verschieden widerstandsfähiger Gesteine geknüpft sind; im Rogenstein beim Hofe Les Montbovats können wir sie z. B. nicht entdecken; sie treten dagegen an der Grenze von Oxfordien und Rauracien, von Oxfordien und Dallé nacrée, von Rauracien bezw. Argovien und den weichen Naticamergeln des untern Sequans auf, also vielfach gerade im Bereich der Oxfordkomben. Die eigentlichen Komben sind, soweit ich in den Freibergen feststellen konnte, überall an weiche Schichten gebunden, in die sie von einzelnen Punkten her subsequent eingetieft worden sind; die Punkte, die, wenn man Karsterosion annimmt, die tiefsten Stellen der Karstwannen sein müssen, fallen jeweils mit den Oeffnungen der Flankentälchen durch

die harten Kalkschenkel zusammen; jedesmal steigt man von ihnen aus in den Komben nach beiden Seiten an. Zudem besteht nirgends die Sohle der Kombe aus unreinem Kalk. Auch müßten, wenn die Einebnung von den Antiklinalen aus erfolgt wäre, die Mulden sich heute in einem höhern Niveau befinden als die Gewölbe, sie müßten über die abgetragenen Falten etwas emporragen, was nirgends der Fall ist. — Es erscheint mir aus diesen Gründen als ausgeschlossen, daß die Oxfordkomben und Doggeraufbrüche durch Karsterosion gebildet worden sein sollen; sie sind ausnahmslos von außen her, infolge Durchbrechens der Malmschenkel durch oberflächlich fließende Gewässer, angeschnitten und ausgeräumt worden.

Nun ist das Karstphänomen in den Freibergen allerdings sehr verbreitet. Es ist indessen durchaus sekundär, d. h. erst nach der Anlage der Rumpffläche und nach der zweiten Faltung entstanden. Die Peneplain ist sicher eine einheitliche Bildung; daß sie entgegen der Ansicht Jaranoffs schiefgestellt worden ist, haben wir an verschiedenen Orten sehr schön konstatieren und mit Hilfe der Mächtigkeit des Tertiärs in den Mulden nachweisen können. Die einzelnen Teilstücke, z. B. die am Hange des Sonnenbergs, die der Gegend von Les Breuleux und Le Peuchapatte etc. stehen miteinander sicher in enger Beziehung und sind nur da und dort durch Erosion, Abspülung des durch die zweite Faltung zu steil gewordenen Gehänges usw. voneinander getrennt worden. Auch die Meinung Hettners, daß auf einer Fastebene ein normal entwickeltes Gewässersystem vorkommen müßte, wird durch die Annahme der Wellung der Rumpffläche entkräftet. Vor der zweiten Faltungsphase war das Gebiet selbstverständlich durchwegs normal entwässert; während der mit der letzten Dislokation Hand in Hand gehenden Hebung des ganzen Gebiets schnitten sich indessen nur die größeren Flüsse ein und schufen sich nach und nach tiefe Cañons (z. B. der Doubs oder im nordwestl. benachbarten französischen Jura der Dessoubre oder die Loue). Die kleineren Bäche auf dem Plateau der Freiberge hingegen, die zunächst noch eine zeitlang existierten und die Gewölbescheitel ausräumten, versiegten schließlich alle infolge der Tieferlegung der Erosions-

basis; das Wasser verschwand im Kalk; erst dann konnte sich die Karstlandschaft entwickeln.

Auf einem etwas anderen Standpunkt steht F. Machatschek (Lit. 65). Er glaubt an eine einzige Faltung, welche von NW nach SE fortschritt und der eine Einebnung folgte. Offenbar sind ihm die Unterschiede in der Mächtigkeit des Tertiärs und in der Anlage der Ketten zwischen den Freibergen einerseits und dem Rheintaler Jura und dem Val de St. Imier anderseits nicht aufgefallen; denn er meint, die Rumpffläche reiche heute noch nicht über den Ost- und Südrand der Freiberge hinaus; die Gebiete östl. von Lajoux und Les Genevez und südl. des Sonnenberges seien noch nicht eingeebnet worden. Diese Ansicht müssen wir ablehnen; wir haben einwandfreie Reste der Peneplain im Gebiet des Rheintaler Jura gefunden und auch die zweite Faltung, an deren Stelle Machatschek zur Erklärung des Doubs-Cañons nur eine geringfügige Hebung der Gegend annimmt, tritt sehr deutlich in Erscheinung. Immerhin sieht Machatschek die Verebnungen nicht als reines Resultat der Karsterosion an. „Die zerstörenden Kräfte, denen der Jura sein heutiges Relief verdankt," so sagt er, „sind die Flußerosion und die flächenhaft tätige Abtragung. Die Entwässerung geschah, abgesehen von einigen Resten eines antecedenten Flußsystems, vorwiegend durch die den tektonischen Tiefenlinien folgenden konsequenten Flüsse." Für sehr bedeutend hält er aber doch auch die chemische Lösung der Kalkschichten. Durch sie werden die Höhendifferenzen nivelliert, „die Kämme der Antiklinalen zunächst bis zum Niveau der Synklinalen abgetragen." Er glaubt, diese Art der Erosion habe das ihre zum Gegensatz zwischen der Hochfläche und den Cañon-artigen Tälern beigetragen, zumal die Flüsse hauptsächlich in die Tiefe, weniger in die Breite arbeiteten.

Die Theorie Machatscheks stellt sich ungefähr in die Mitte zwischen diejenige von Jaranoff und diejenige, welche zuerst von Brückner aufgestellt wurde und die die Entstehung der Peneplain rein durch fluviatile Abtragung und das Auftreten der Karsterscheinungen erst nach der zweiten Faltung annimmt. Diese letzte Auffassung scheint mir am besten den Tatsachen zu entsprechen. Es ist kaum möglich, daß die Karsterosion in der geringen Höhenlage, welche die Rumpffläche, nach der

Davis'schen Theorie, während ihrer Bildung haben mußte, schon tätig gewesen ist. Auch G. Chabot (Lit. 23) lehnt im benachbarten französischen Plateaujura eine Einebnung infolge Verkarstung gänzlich ab. Die Juragebiete sind keineswegs zu vergleichen mit den Karstlandschaften Istriens und Dalmatiens; dort wurde die Peneplain von den Dolinen aus geschaffen; indem sie sich miteinander verbanden und sich erweiterten, wurde die ursprüngliche unebene Oberfläche eingeebnet. Dabei blieben aber, überall zwischen den Dolinen verteilt, kleine Bergrücken mit sehr schroffen Abhängen bestehen, welche in unserem Gebiet vollständig fehlen. Auch im Kalk kann sehr wohl eine ausschließlich fluviatile Erosionsoberfläche entstanden sein; dabei muß aber, wie auch Chabot betont, die Erosionsbasis nur wenig tiefer gelegen haben, so daß die Kalke mit Grundwasser gefüllt waren.

Die Fastebene hatte demnach vermutlich folgenden ungefähren Werdegang: wie wir gleich sehen werden, ist sie die Nachfolgerin einer durch die erste und wichtigste Auffaltung zerstörten Peneplain. Sehr wahrscheinlich entwickelte sie sich in ihren Anfangsstadien schon während der langsam vor sich gehenden Faltung selbst und erfuhr dann in der unmittelbar anschließenden Periode ihre wesentliche Ausgestaltung. Dabei lag das Land wohl stets ziemlich tief, d. h. in der Nähe der Erosionsbasis, welche sich in den 3 umliegenden Tertiärbecken des Mittellandes, des Rheintalgrabens und der Bresse befand (die Bresse und das Mittelland waren noch im jüngeren Tertiär von einem See, die nördl. Rheinebene und das Rhonetal unterhalb Lyon vom Meere bedeckt). Es ist kaum anzunehmen, daß durch die Orogenese, die wir uns mit Hilfe der Abscherungstheorie als oberflächlichen, von den Alpen ausgehenden Schub vorzustellen haben, für längere Zeit größere Höhendifferenzen hervorgerufen wurden. Die Reliefunterschiede wurden wohl sehr bald durch die Einebnung beseitigt. Erst in der zweiten Faltungsphase und infolge der damit verknüpften Hebung entstanden die heutigen Mittelgebirgsformen. Die Erosionsbasis kam dabei tiefer zu liegen, der Grundwasserspiegel ebenfalls, und dadurch, daß das Wasser nun auf der Hochfläche im Kalk versickerte, waren die Bedingungen für die Entwicklung des Karstphänomens gegeben.

D. Das Alter der Rumpffläche.

Wir wissen bereits, daß die Rumpffläche der Freiberge sich zwischen einer ersten und einer zweiten Auffaltung des Jura gebildet hat. Es interessiert uns nun zu erfahren, wann, in welcher geologischen Zeit, die Dislokationen und die Einebnung vor sich gegangen sind. Wir müssen dabei vor allem die Auflagerung und allfällige Diskordanzen der jüngeren tertiären Schichten beobachten; doch halte ich es für gut, auch etwaige benachbarte Fastebenen zum Vergleich heranzuziehen.

Unser Gebiet wurde nicht zum ersten Mal von der Einebnung betroffen; schon früher waren verschiedene Rumpfflächen vorhanden. In den Vogesen und im französischen Zentralplateau ist die permokarbonische Peneplain freigelegt; sie wurde namentlich von Baulig (Lit. 2/3) beschrieben und muß sich über große Teile Mittel- und Westeuropas ausgedehnt haben. Nach der langen mesozoischen Sedimentationsperiode lag unsere Gegend im N schon zur Kreidezeit, gegen SW zur Hauptsache erst im Eocaen trocken. Die Höhenlage war wahrscheinlich nicht sehr bedeutend, so daß sich verhältnismäßig rasch eine Rumpffläche bildete, die wie die permokarbonische weit ausgriff. Baulig erkannte sie ebenfalls im Zentralplateau, Cholley (Lit. 24) im Mâconnais und Charolais. Schon bald machten sich jedoch, wie Liniger (Lit. 62) feststellte, rheintalische, NNE-SSW verlaufende Bewegungen bemerkbar; zunächst handelte es sich mehr um leichte Wellungen — die Querfalten des Delsbergerbeckens —, später, im mittleren Oligocaen, um Verwerfungen und Brüche. Eingeebnet wurde dieses Relief erst im untern Miocaen, nach der schon erwähnten postburdigalen Faltung; es entstand die von Buxtorf (Lit. 15) erläuterte sog. vindobonische Fläche. Sie neigte sich von den Vogesen und vom Schwarzwald her leicht nach S, so daß die Flüsse in die vom Meer erfüllte Senke des schweizerischen Mittellandes abfließen konnten. Es war keine vollkommene Peneplain; die Niveauunterschiede waren großenteils, aber nicht vollständig beseitigt. Die vindobone Fläche ist im Kettenjura heute nirgends mehr vorhanden, außer vielleicht als Auflagerungsfläche der helvetischen Sande bei Malleray oder Courtelary. Im Aargau, im Gebiete des Fricktaler Tafeljura, wurde

sie von G. Braun (Lit. 9) und P. Vosseler (Lit. 99) als Auflagerungsfläche ebenfalls des Helvétiens und der dort vorkommenden Juranagelfluh festgestellt; im Landschaftsbild tritt sie aber gleichfalls nicht hervor. Auf der Höhe des Bözbergs und des Tiersteinerberges, wie auch weiter westlich auf dem Gempenplateau ist dafür eine obermiocaene, präpontische Rumpfebene erhalten; sie hat sich nach orogenetischen Bewegungen und nach der damit verbundenen Ablagerung der Juranagelfluh aus der vindobonen heraus entwickelt. (Auch im Berner Jura fanden im Obermiocaen, bereits während und besonders nach der Entstehung des Oehninger Süßwasserkalkes, gebirgsbildende Vorgänge statt, denen die — nicht vollkommene — Einebnung folgte.) Es ist die jüngste der im östl. Jura vorhanden gewesenen Einebnungsflächen; wie ihre Vorgängerin fiel sie leicht südlich ein; die Schwarzwaldflüsse durchflossen sie und mündeten in die Ur-Aare, welche die Tiefenrinne des Mittellandes einnahm und sich nach E zur Donau richtete.

Schauen wir uns um, ob diese obermiocaene Peneplain im Westen ein Aequivalent besitzt. Cholley (Lit. 24) unterscheidet im Mâconnais und Charolais neben älteren Fastebenen als jüngste, als neogene Fläche eine posthelvetische, die ihr eventuell entsprechen könnte. Von großer Wichtigkeit ist für uns die Arbeit von G. Chabot (Lit. 23) über die Plateaux des zentralen französischen Jura. Chabot bespricht vor allem die Rumpffläche von Ornans, die sich nach NE bis Pierrefontaine hinüberzieht und die ursprünglich auch die Gebiete um Salins, Champagnole und Lons-le-Saunier umfaßte. (Zu bemerken ist dabei, daß die Stadt Ornans nicht auf ihr liegt, sondern in dem in ihr später tief eingeschnittenen Tal der Loue. Die Loue selbst floß wahrscheinlich schon bei der Entstehung der Peneplain gleich wie heute; es handelt sich also um Antecedenz.) In 2 sich folgenden Erosionszyklen bildeten sich als Piedmontflächen 2 tiefer gelegene Einebnungen, zuerst das Plateau von Nozeroy (50 m unter dem von Ornans), das bei Nozeroy östl. Champagnole, ferner bei Franois südl. von Champagnole und außerdem nordwestl. von Ornans im Plateau von Montrond erhalten ist, darauf das Plateau von Champagnole (100 m unter dem von Nozeroy), welches nur im südl. Teil der Franche

Comté, bei Champagnole und Lons-le-Saunier vorkommt. Wir erkennen schon aus diesen Abtragsphasen der Rumpffläche, die wohl mit einer Tieferlegung der Erosionsbasis zusammenhängen, daß von der Einebnung des Plateaus von Ornans an bis zur fertigen Entstehung des Plateaus von Champagnole eine sehr lange Zeit verstrichen sein muß, eine viel längere, als sie die Bildung der Peneplain der Freiberge erforderte. — Besonders interessant sind die Beziehungen dieser Flächen zu den Jurafalten. Zwar fanden in der besagten Zeitdauer keine Dislokationen statt; doch unterscheidet Chabot ebenfalls unmittelbar vor und nach der Einebnung je eine Faltungsphase. In der ersten Phase wurden danach die Ketten von Besançon zum Mont Poupet bei Salins und des Mont-Bon nördl. Ornans aufgerichtet, ferner das Gewölbe, das von Salins zur Montagne de Fresse bei Champagnole streicht, und dasjenige, welches zwischen Vercel und Pierrefontaine in südl. Richtung gegen den Querbruch von Pontarlier-Vallorbe zieht. Die Peneplain legt sich zum Teil flach über diese Antiklinalen hinweg; zum Teil ragen die Ketten als Härtlinge etwas über sie empor. Auffallend ist das fast N-S verlaufende Streichen, das in keiner Weise zur Streichrichtung der Antiklinalen der ersten Faltungsphase in den Freibergen, eher zu der der Caquerellekette und der Querfalten des Delsbergerbeckens passen will. — Die Ketten der zweiten Dislokationsperiode ziehen sich dagegen quer zu diesen ältern Gewölben von SW nach NE; sie wurden stärker gehoben als die Wellungen der zweiten Faltungsphase in den Freibergen, zum Teil sogar überschoben. Es handelt sich um den Faltenzug der Heute von östl. Lons-le-Saunier bis gegen Salins, der sich jenseits von Salins gegen Mouthier im Louetal und in das Gebiet südl. Pierrefontaine fortsetzt, ferner um ein Gewölbe, das nördl. von Pontarlier durchzieht und den Höhenzug Le Scay-Mont Chaumont aufbaut. Bei Pontarlier folgen dann die Ketten der Montagne du Laveron, des Larmont etc. An den Kreuzungsstellen der jüngern mit den ältern Antiklinalen ergaben sich starke Störungszonen, z. B. in der Gegend von Salins und von Mouthier. Die einheitliche Rumpffläche von Ornans wurde infolge dieser jüngeren Auffaltungen da und dort unterbrochen, z. B. zwischen Amancey und Levier, zwischen Levier und Courvières etc. — Von besonderer Bedeutung, ja

von ausschlaggebender Wichtigkeit ist für uns der Umstand, daß die jüngern Ketten der Franche Comté sich unmittelbar in die ältern des Plateau de Maîche und der Freiberge fortsetzen. Wir erkennen, daß, wenn dies stimmt, die Peneplain von Ornans und die der Freiberge unmöglich gleichaltrig sein können; diejenige der Freiberge ist unzweifelhaft jünger. Chabot nimmt für seine Rumpfebene und für die daraus hervorgegangenen Piedmontflächen von Nozeroy und Champagnole pontisches Alter an. Seine Ueberlegungen und seine Beweisführung mit Hilfe des allerdings nur im S abgelagerten Miocaens (bei Salins kommen noch obermiocaene Flußgerölle vor) scheinen mir durchaus richtig zu sein; vielleicht wurde einzig die Fläche von Ornans in ihren Anfängen schon im obersten Miocaen angelegt und im Pontien voll ausgebildet. Der Einwand, daß die Falten der ersten Phase der Franche Comté nicht vorpontisch sein können, da sie sonst nivelliert wären, ist wohl nicht ganz berechtigt; die Gewölbe sind ja außer den Härtlingen eingeebnet und gerade das Vorhandensein obermiocaener Flußgerölle läßt doch, wie Chabot auch zugibt, auf Orogenese schließen. Es ist also anzunehmen, die erste Faltung sei im obern Miocaen, im Torton, vor sich gegangen und die Peneplain sei eine sarmatisch-pontische. Wir können die Rumpffläche der Franche Comté mit der sarmatischen des Aargauerjura in Beziehung bringen. — Die Fastebene der Freiberge ist demnach, wenn wir die zweite Faltung der Franche Comté der ersten des Berner Jura gleichsetzen, jünger als das Pontien; wir sind deshalb den Beweis schuldig, daß sie erst nach der Ablagerung der sicher pontischen Schotter von Charmoille und der als pontisch angenommenen Vogesenschotter des Bois de Raube und der umliegenden Höhen (siehe S. 18) entstanden ist. Begeben wir uns ins Delsbergerbecken und in seine Umgebung. Liniger ist der Ansicht, die dortige Peneplain sei präpontisch und bilde die Auflagerungsfläche der Schotter; er begründet seine Meinung damit, daß im Tal unten die Ablagerungen des Bois de Raube und von Charmoille über alle vorhandenen Schichten vom Kimeridge bis zum Torton transgredieren und auf den Höhen die Vogesengerölle sowohl auf Malm wie auf Dogger aufruhen. Untersuchen wir zunächst die Auflagerung der Schotter von Char-

moille, die nach N bis gegen Vendlincourt verbreitet sind. Die sehr gut entwickelte Fastebene der Ajoie legt sich tatsächlich unter die Gerölle; ich möchte sie für präpontisch (sarmatisch) bis pontisch ansehen, wie dies auch A. Gibert in seiner Arbeit über die Burgunderpforte tut (Lit. 41). — Im Delsbergerbecken indessen suchen wir östl. und westl. des Bois de Raube vergeblich nach einem Hervortreten der Rumpffläche aus der Unterlage der Schotter. Würde die Auffassung Linigers stimmen, so müßte doch auch das das Pontien östl. und westl. begrenzende Oligocaen (Molasse alsacienne und Delsbergerkalk) eingeebnet sein oder aber wir müßten an eine sehr starke Quereinbiegung der Peneplain denken. In der Gegend von Develier-dessus erkennen wir aber deutlich, daß die Molasse alsacienne in gleicher Höhe direkt neben den Schottern liegt und eine lokale Einwalmung der Rumpffläche während der letzten Faltungsphase um ca. 100 m (ungefähre Mächtigkeit der Schotter) im Gebiet des Bois de Raube halte ich für außerordentlich unwahrscheinlich. Dagegen fällt uns ein Niveau in etwa 600 m Höhe auf, welches wir sowohl im Bois de Raube als auf der Höhe von Sur Chaux südl. Develier wie auch als Unterlage des abgerutschten Malmpaketes des Mont Chaibeux wiederfinden. Ich erwähne nur die Flächenstücke von P. 615 und P. 621 bei Tramont östl. Boécourt, von P. 612 und P. 591 an der Rangierstraße südwestl. Develier-dessus (alle auf Pontien), dann von P. 617 auf Sur Chaux (auf Molasse alsacienne), die Oberfläche des Grand Crèt nördl. Develier (auf Kimeridge der Querfalte von Develier), die leicht nach N geneigte Auflagerungsfläche des Malms des Mont Chaibeux (580—600 m; auf Tortonien), endlich im Ostteil des Beckens P. 608 auf Le Vanne bei Recolaine (auf Delsbergerkalk). An diesen Stellen scheinen mir Reste einer Fastebene vorzuliegen; doch kann es sich dabei nicht um die präpontische bis pontische Fastebene der Ajoie noch um die ebenso alte der Franche Comté handeln, sondern nur um die demnach postpontische, etwa mittelpliocaene der Freiberge, welche durch die letzte Dislokation eingebogen worden ist. Die Peneplain der Freiberge ist also tatsächlich etwas anderes, jüngeres als diejenige von Ornans. Daß die Vogesenschotter nicht gut ihr auflagern können, scheint auch folgender Umstand zu beweisen: wie wir

wissen, ist die letzte Faltung nicht mehr stark gewesen; die Schotter müßten daher m. E., falls sie jünger sein sollten als die Fastebene, z. B. auf der Höhe der Caquerelle, oder in den Freibergen, kurz da, wo die Rumpffläche nicht zerstört ist, viel besser erhalten sein; wir finden indessen dort nur vereinzelte Gerölle. Viel eher ist anzunehmen, sie seien vor der hauptsächlichsten Auffaltung des Gebiets abgelagert worden und dann während der Dislokation im Bereich der sich bildenden Antiklinalen bis auf einzelne unzersetzbare Quarzit — und einige nur langsam verwitternde Buntsandsteingerölle der Zerstörung anheimgefallen. Die Transgression über verschiedene Schichten ist dabei durchaus zu erklären. Wir müssen bedenken, daß wie in der Ajoie auch im Delsbergerbecken als Unterlage der Schotter die präpontische Fastebene bestand und noch besteht; sie tritt allerdings heute in der Gegend des Bois de Raube nirgends sichtbar hervor. Ihrer Bildung sind wie in der Franche Comté sicher auch hier im Obermiocaen Dislokationen vorangegangen; ich denke am ehesten an eine schwache Aufwellung der Querfalten. Daß diese seit dem Stampien (vergl. S. 13) wieder gehoben worden sein müssen, geht aus der Lagerung der Schichten hervor. Die Molasse alsacienne, deren Sedimentation damals nicht mehr von ihnen beeinflußt wurde, findet sich heute bei Develier-dessus in 527—565 m Höhe; ca. 1 km östlich davon liegt gleich hoch das Kimeridge der Querfalte von Develier; das Mittelstampien ist also deutlich aufgerichtet. Diese obermiocaenen Dislokationen wurden gleich eingeebnet; durch die Erosion wurden wahrscheinlich die Malmkalkhorizonte zum Teil frei gelegt, vielleicht an einzelnen besonders kulminierenden Punkten sogar bereits der Rogenstein. So konnten dann die Gerölle ohne weiteres teils auf Kimeridge, teils auf Sequan oder Rauracien abgelagert werden. Unter Umständen ist es kein Zufall, daß die beiden Stellen, an welchen Quarzite und Buntsandsteine auf Hauptrogenstein gefunden wurden (Haute Borne nördl. Develier und Saulcy), ausgerechnet im Bereich der Verlängerung der Querfalten (der von Develier und der Caquerellekette) gelegen sind. — Doch begeben wir uns damit schon allzusehr ins Gebiet der Hypothese. Es ist anderseits, wie wir aus der Transgression der Vogesenschotter über das Kimeridge am Nordrande des Bois de Raube ersehen

können, ebenso wahrscheinlich, daß die wichtigste Jurafaltung mit ihrer westöstl. Streichrichtung sich, wenn auch nur wenig, schon im Pontien geltend machte.

Im ganzen können wir demnach die Geschichte der Landschaft während des Tortoniens und Pliocaens ungefähr so rekonstruieren: eine erste Faltungsphase im Obermiocaen drückte sich namentlich in der Franche Comté in der Anlage der Ketten des Mont-Bon, der Montagne de Fresse etc. aus. Diese Antiklinalen streichen auffallenderweise gegen die Transversalverschiebungen von Morez-St. Cergue und von Pontarlier-Vallorbe; ob sie damit in Beziehung zu bringen sind, ist ein Problem für sich. Wie ich bereits betonte (S. 23), sind die Querbrüche des Hochjura wahrscheinlich durch ungleiche Faltung längs Störungslinien verursacht; A. Buxtorf erscheinen sie „als Spannungen, die sich aus dem Widerstand des schon erstarrten Jura franc-comtois dem allmählich erlöschenden alpinen Schub gegenüber ergaben" (Lit. 15). — Im Obermiocaen wurden wohl auch die Querfalten des Berner Jura leicht gewellt. Die die ganze Gegend einebnende sarmatisch-pontische Rumpffläche dehnte sich über ein sehr großes Gebiet aus; sie ist heute noch als Plateau von Ornans und in der Ajoie erhalten, dürfte aber unter anderem die ganzen heutigen Freiberge umfaßt haben; auch die Fastebene des Gempenplateaus und des Bözbergs scheint mit ihr zusammengehangen zu haben. Nach der Aufschüttung der pontischen Vogesenschotter im Berner Jura kam es dort zur wichtigsten Auffaltung; ihr entspricht in der Franche Comté die zweite Dislokationsperiode, durch welche die Peneplain des Plateaus von Ornans zum Teil aufgebogen und zerstört wurde (z. B. bei Salins, Mouthier usw.). Im Neuenburger und Berner Jura wie im Plateau de Maîche bildete sich darauf im Mittelpliocaen eine neue Rumpffläche, welche wir in den Freibergen untersucht haben. In der letzten nur noch schwachen Faltungsphase des obern Pliocaens wurde sie gewellt, und, vor allem im Gebiet der tiefen Muldentäler infolge der geringen Widerstandsfähigkeit der Tertiärschichten größtenteils abgetragen, während sich die letzte Faltung in der Franche Comté wohl nur in einer allgemeinen Hebung ausdrückte.

Es ist begreiflich, daß wir unter diesen Umständen die bisher verwendeten Begriffe „erste und zweite Faltungsphase"

nicht mehr aufrecht erhalten können. Ich möchte an ihrer Stelle für das Gebiet des Berner Jura fortan die Ausdrücke „Hauptfaltung“ und „letzte Faltungsphase“ gebrauchen.

E. Die Anlage des heutigen Gewässernetzes.

Eine Betrachtung der heutigen hydrographischen Verhältnisse verweist uns von vorne herein auf die Randlandschaften der Freiberge, auf das Doubstal, auf den westl. Teil des Rheintaler Jura mit den Sorneklusen und auf das Val de St. Imier. Vor allen Dingen drängt sich uns die Frage auf, ob die Anlage der heute fließenden Bäche und Flüsse erst durch die letzte Faltungsphase bedingt sei oder ob Antecedenz bestehe (in diesem Falle wären die Gewässer älter als die letzte Dislokation). Die Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) zeigt uns nun einwandfrei, daß der Tabeillon, der Bach Combe des Beusses-Undervelier, die oberste Sorne und die Trame alle die konsequenten Abflüsse der entsprechenden, nach E tiefer werdenden Mulden der letzten Faltung sind; von Antecedenz, auf die die Durchbrüche des Tabeillon durch die ursprüngliche Velleratkette westl. Saulcy und des Baches der Combe des Beusses durch die ursprüngliche Raimeuxkette nördl. Lajoux zunächst schließen lassen, kann keine Rede sein. Schwieriger werden die Verhältnisse bei den Klusen. Die ältern Juraforscher wie A. Greßly (Lit. 45) oder J. Siegfried (Lit. 91) standen auf dem Standpunkt, es handle sich um Aufbrüche vulkanischer Natur; bereits J. Thurmann (Lit. 95) nahm aber fluviatile Erosion an. Später wurden dann besonders 3 Entstehungsursachen erwogen:

1. Ueberflußdurchbrüche.
2. Recedenz (Rückschreitende Erosion).
3. Antecedenz.

Im ersten Fall floß das Wasser an der tiefsten Stelle der Umrandung einer Mulde über und schnitt sich ein. Ein Beispiel liegt in unserer Gegend nirgends vor. Auch die Annahme von P. Schlee (Lit. 87) und G. Kemmerling (Lit. 57), wonach die Klusen stets an axiale Depressionen geknüpft seien, trifft, wenigstens für die Sornedurchbrüche, nicht zu. Auf der Isohypsen-

karte der Peneplain (Tafel 6) erkennen wir dies sehr gut und auch die Strukturkarte (Tafel 3) zeigt uns, daß das Nebengewölbe von Ste. Colombe nördl. Undervelier ausgerechnet an seiner Kulminationsstelle durchschnitten wurde. Diesen letzten Fall dürfen wir allerdings nicht als Beweis anführen; es wäre zu gewagt, den heutigen Sornelauf schon vor der Hauptfaltung anzunehmen; vielmehr hat der Bach beim Einschneiden in die jüngste, einheitliche Velleratantiklinale die Strukturen der ehemaligen Ste. Colombekette aufgedeckt. Die allfällige Antecedenz bezieht sich immer nur auf die letzte Dislokation. — An ein Achsenminimum könnte man dagegen zunächst bei der nicht vollständig eingetieften Klus der Pierre Pertuis denken; es handelt sich indessen um eine Depression der Hauptaufwölbung. In der letzten Faltungsphase kam es hier zu einer Ablösung der Sonnenberg- durch die Montozkette; durch die dazwischen entstandene Quermulde richtete sich der Ablauf des Val de St. Imier in das Becken von Tavannes und legte wenig später die Formen der ältern Antiklinale wieder frei.

Für die Sorneklusen stehen einander somit die beiden Theorien der Recedenz und der Antecedenz gegenüber. Unbedingt für die Bildung der Durchbrüche durch rückschreitende Erosion ist F. Jenny (Lit. 54); der Umstand, daß die Klusen im Jura meist senkrecht zum Streichen der Ketten angelegt sind, spricht nach ihm gegen Antecedenz; bei antecedenten Flüssen müßte die zum Streichen schräge Richtung ebenso häufig sein. Ich möchte demgegenüber nur auf die vollkommene Widerlegung durch Alb. Heim (Lit. 48, S. 678, Bd. 1) hinweisen. Auch Machatschek (Lit. 65) lehnt die Auffassung Jennys für die Birsklusen ab; die Sorneklusen glaubt er indessen jünger als die letzte Faltung ansehen zu müssen, da sonst das Gefälle der Pichoux-Schlucht ausgeglichener wäre. Die Verhältnisse, sagt er, „sprechen für sehr jugendliche Erosionsvorgänge, und das in einer den zu einer Rumpffläche abgetragenen Freibergen benachbarten Gegend, die noch nachträgliche Dislokationen erfahren hat". Dieser Einwand (kein ausgeglichenes Gefälle) ist jedoch leicht damit zu entkräften, daß die Mulde des Petit Val, wie aus der Isohypsenkarte der Fastebene hervorgeht, höher liegt als die von Undervelier (größere Mächtigkeit des Tertiärs); aus dem gleichen Grunde besteht ja in der von Machatschek

für antecedent gehaltenen Klus von Court ebenfalls ein ziemlich starkes Gefälle. Alb. Heim nimmt entgegen Machatschek auch für die Durchbrüche von Pichoux und Undervelier Antecedenz an, hauptsächlich deshalb, weil sonst die Klusen kaum in demselben Talweg sich aneinanderreihten. Ich möchte die Recedenz gleichfalls ablehnen; die Antecedenztheorie scheint mir das Problem besser lösen zu helfen.

Wir müssen uns nun mit einer Hypothese befassen, welche von F. Foerste und J. Früh (Lit. 36) und dann wieder von R. Elber (Lit. 27) aufgestellt wurde. Danach richteten sich die Vogesenflüsse, welche die Bois de Raube-Schotter hertransportierten und die Landschaft einebneten, zunächst gegen das Mittelland; in der letzten Faltungsphase wurden indessen die Gefällsverhältnisse sukzessive umgekehrt. Dieselben Gewässer flossen nun nach N anstatt nach S und schnitten sich in den sich aufwölbenden Antiklinalen ein. Foerste und Früh versuchten einen der Flußläufe zu rekonstruieren, indem sie die Klusen der Sorne, der Pierre Pertuis und die von Reuchenette und Bözingen (Taubenloch) miteinander in Verbindung brachten. — Die Theorie läßt sich indessen nicht aufrecht erhalten. Würde sie zutreffen, so müßten sich doch auch z. B. nördl. der Klus von Undervelier im Gebiet der Caquerelle und vor allem in der Moronkette zwischen der Pichoux-Schlucht und der Pierre Pertuis Durchbrüche gebildet haben. Außerdem ist es infolge des Nachweises, daß die Hauptfaltung erst nach der Ablagerung der Vogesenschotter vor sich gegangen ist, alles andere als wahrscheinlich, daß dieselben Flußläufe 2 Dislokationsperioden überdauerten. Gerade der Umstand, daß die Verbreitung der pontischen Gerölle nach S allmählich ausklingt, spricht dafür, daß sich die Gewässer in die etwa den heutigen südl. Solothurner Jura einnehmende Tiefenrinne, welche weiter östl., im Aargauer Jura, von A. Amsler (Lit. 1) nachgewiesen wurde, und gegen die Donau wandten; im andern Falle, d. h. wenn sie über die bereits zum ersten Male aufgefalteten Antiklinalen hinweg ihren Weg in die sich nun am Südfuße des Weißensteins und des Montoz befindende Tiefenrinne genommen hätten, müßten doch sicher Reste von ihren Absätzen heute noch in den Mulden von Moutier und Court vorhanden sein. Viel eher ist anzunehmen, daß es sich bei den Schottern des Bois de

Raube und der umliegenden Höhen um einen Schuttfächer am Rande der sich gegen die Donau richtenden mächtigen Rinne, welche auch alle nordalpinen Gewässer aufnahm, handelte; südlich der Montagne de Moutier finden wir kaum mehr Vogesengerölle. — Die nördl. Abdachung des Jura wurde meiner Ansicht nach schon während der Hauptfaltung geschaffen. Sie war allerdings bis zur letzten Aufwölbung noch nicht stark ausgeprägt, genügte aber, um die Vogesenflüsse zum Ablauf nach Westen ins Rhonegebiet zu veranlassen; damals, im untern bis mittleren Pliocaen, entstand die Burgunderpforte.

Ebensowenig wie die Klusen des Berner Jura wurde das obere Doubstal bis St. Ursanne durch ein von den Vogesen kommendes Gewässer angelegt. Diese Auffassung vertritt, wie ich schon in der Einleitung erwähnte, namentlich Machatschek. Die Theorie besagt, das heutige Tal zwischen Pontarlier und St. Ursanne sei einst von einem Fluß durchmessen worden, der seine Quelle in den Vogesen hatte und der sich von Pontarlier zum Ain richtete; infolge einer Hebung sei der Sinn des Gefälles umgekehrt und der Doubs bei St. Ursanne von einem aus der Gegend von St. Hippolyte durch Rückwärtserosion eingreifenden Bach angezapft worden. Würde dies nun stimmen, so müßten sich doch Vogesengerölle bis in die Gegend von Pontarlier finden, was nicht der Fall ist; das westlichste Vorkommen ist das zwischen Saignelégier und Les Pommerats. — Auch die Ansicht Fourniers, der Doubs sei einst in das schon bestehende Delsbergerbecken geflossen und dann ebenfalls bei St. Ursanne angeschnitten worden, müssen wir in dieser Form ablehnen; wie auch Machatschek meint, müßte eine noch heute erkennbare Talform an der Stelle des alten Laufes zurückgeblieben sein. Fournier führt als Beweis alte Schotterreste ca. 400 m über dem heutigen Flußspiegel an; es dürfte sich dabei wohl um Vogesengerölle handeln; Doubsschotter konnte ich keine finden. — Die einzige Möglichkeit einer Lösung der Frage erblicke ich darin, anzunehmen, der Fluß sei infolge der Hauptdislokation genötigt worden, seinen bisherigen Lauf nach E (zur Donau) aufzugeben und sich nach NW zu richten. Die Umbiegung bei St. Ursanne ist sicher antecedent der letzten Faltung. Leider läßt die Peneplain der Freiberge ihre ursprünglichen Abdachungen infolge der letzten Aufwölbung nicht mehr erkennen, wie

dies bei der Fastebene der Franché Comte, beim Plateau von Ornans der Fall ist. Ich vermute aber sehr, daß die heutigen Wasserscheiden zwischen Birs-, Allaine- und Doubsgebiet schon auf ihr sich ungefähr an der gleichen Stelle befanden. Nun gibt das überaus scharfe Doubsknie bei St. Ursanne doch allen Anlaß, an irgendeine Anzapfung zu denken; einen direkten Beweis haben wir allerdings nicht; wir sind auf Vermutungen, auf eine Hypothese angewiesen. Die Ablenkung durch einen Bach von W, von der Gegend von St. Hippolyte her muß sich schon sehr früh, wahrscheinlich bereits während der Hauptfaltung vollzogen haben; denn sonst müßte sich, wie schon gesagt, die alte Fortsetzung des oberen Längstales bestimmt noch irgendwie erkennen lassen. — Während und nach der letzten Faltung schnitt sich der Fluß dann ein und gestaltete, wie wir noch untersuchen werden, seinen jetzigen Cañon aus.

Rekapitulierend stellen wir folgendes fest: Auf der sarmatisch-pontischen Rumpffläche flossen die Gewässer der Vogesen wie auch die des Schwarzwaldes nach S, nach der sich zur Donau wendenden Tiefenrinne ab; auch der obere Doubs war damals ein Zufluß der Donau. Durch die Hauptfaltung wurden diese hydrographischen Verhältnisse von Grund auf geändert. Die Rinne am Nordrand des Mittellandes kam etwas südlicher zu liegen und empfing von Norden, von der Seite des Jura her, fast kein Wasser mehr. Die ganze Juraabdachung richtete sich nach N; die Mittelpliocaene Peneplain, welche wir in den Freibergen untersucht haben, wurde ausgebildet. Das Gefälle der Gewässer, welche sie schufen, war indessen nicht groß und ziemlich ausgeglichen; wir dürfen uns die Landschaft auf keinen Fall in hoher Lage wie heute vorstellen. Schon auf der Rumpffläche war die Zweiteilung in die Bäche und Flüsse des Birsgebiets, zu denen wir auch den Abfluß des Val de St. Imier zu rechnen haben, und des Doubsgebiets gegeben. Die Birs floß in den Rheintalgraben und dann nach W durch die bereits vorhandene Burgundische Pforte zur Rhone. Der Doubs, dem der Weg zur Donau bei der Hauptfaltung verriegelt wurde, richtete sich vielleicht noch sehr kurze Zeit mit ihr zusammen auf dem Umweg über den oberen Rheintalgraben ins Rhonegebiet, wurde aber jedenfalls sehr bald, als die Hauptfaltung noch nicht beendet war, durch einen von seinem eigenen Unterlauf her ein-

schneidenden Bach in der Gegend von St. Ursanne angezapft; alle Anzeichen seines früheren Laufes traten nach der Einebnung nicht mehr hervor. Der Fluß wandte sich nun nach W zurück und richtete sich dann hinaus in die Gegend von Montbéliard, wo er sich mit den Vogesengewässern und der Birs vereinigte. — Im Oberpliocaen erfolgte darauf die letzte Dislokation, die mit einer Hebung und gleichzeitig mit Senkungsvorgängen im Rheintalgraben verknüpft war. Die Flüsse schnitten sich da, wo sie quer zu den sich aufwölbenden Antiklinalen flossen, ein und schufen die Klusen; dabei wurden die Strukturen der Hauptfaltung frei gelegt. Da wo der Flußlauf parallel zum Streichen ging, kam er stets in die Mulden zu liegen, d. h. von den Schenkeln glitt er langsam zur Synklinale ab, wie dies Chabot für die Anlage des Louetales (allerdings in ältern Faltungsphasen) nachgewiesen hat. Chabot spricht in diesem Falle von „rückgebildeter Antecedenz" (antécédence restreinte). Nach Alb. Heim „mußte jedes eine Synklinale kreuzende Talstück mehr und mehr in die Streichrichtung gedreht werden; jedes eine Antiklinale kreuzende Flußstück mußte die steilere Querrichtung ertasten, so daß die ursprünglich schief zum allmählich sich geltend machenden Streichen laufenden Talwege nun mehr oder weniger in einen Wechsel von Längs- und Quertalstücken sich verknicken und umgestalten mußten; manche sind schief zum Streichen geblieben" (Lit. 48, S. 678—679, Bd. 1). Beim Einschneiden kam es in den Mulden wie in den Gewölben zu Ausräumungen, mit denen wir uns nunmehr befassen wollen.

III. Die Ausräumungen.

Wie wir wissen, ist der Unterschied zwischen den Mulden des Rheintalischen Jura und denen der Freiberge durch die verschiedene Mächtigkeit des Tertiärs begründet. Schon gleich nach der letzten Faltung lagen die Synklinalen von Undervelier, des Petit Val etc. tiefer als die entsprechenden Mulden der Freiberge; das Wasser floß von der Höhe durch sie hinunter und fand unten durch die während der Aufwölbung (allerdings noch nicht so tief wie heute) eingeschnittenen Klusen der Sorne den Weg nach Norden. Die heutige Flußdichte ist, wie R. Fluck (Lit. 31) überzeugend klarlegte, hauptsächlich durch die geologischen Verhältnisse des Untergrundes, durch den Wechsel von durchlässigen und undurchlässigen Gesteinen bedingt. In dem größtenteils undurchlässigen Tertiär der tiefen Talmulden entwickelte sich ein reiches Netz von oberirdischen Wasseradern, welches sich mit der Zeit eintiefte. In den Synklinalen der Hochfläche dagegen, deren Kern nur zum allergeringsten Teil aus Tertiär, meist aus den stark durchlässigen Jurakalken bestand, versickerten alle Bäche in den Klüften und Spalten und flossen unterirdisch ab; denn mit der Erosionsbasis war auch der Karstwasserspiegel tiefer gelegt worden. Immerhin vollzog sich der Abfluß in die Synklinaltäler relativ lange Zeit noch oberflächlich; vor allem in den östlichen Freibergen wurden die Gewölbe, wie wir gesehen haben, angenagt und ausgeräumt. In den Westfreibergen ist dies viel weniger der Fall; dort wurden die Mulden schon sehr bald zu Poljen, in welchen das Wasser in der Tiefe verschwand und in welchen die Karsterosion tätig war. Als ausgesprochenes Polje ist uns auch das Becken von Bellelay bekannt. — Wir müssen infolgedessen, wenn wir von Ausräumungen sprechen, stets zwischen solchen, die durch oberirdische Entwässerung, und solchen, die durch Karsterosion geschaffen wurden, unterscheiden.

A. Ausräumungen durch oberirdische Entwässerung.

Es scheint mir hier gut zu sein die Ausräumungsgebiete der Birszuflüsse inklusive des Val de St. Imier und dasjenige des Doubs auseinanderzuhalten, da ihr Charakter ein verschiedener ist. Der Doubs sticht schon durch seinen eigenartig gewundenen Lauf von der Sorne, der Trame und ihren Nebenbächen ab.

1. Die Ausräumungslandschaften der Birszuflüsse.

a) Das Tal des Tabeillon.

Wenn wir von Pré Petitjean aus der Bahnlinie nach E folgen, so stehen wir in kurzer Zeit am Rande eines Ausräumungsgebietes, welches mit einem typischen Talschluß in die Hochfläche eingreift. Es ist die bis fast 400 m breite Wanne von Plain de Seigne, der oberste Teil des Tabeillontales. Heute ist sie stark vertorft und ohne oberflächlichen Abfluß; ursprünglich wurde sie indessen sicher von einem Gewässer durchflossen, welches sich nach NE durch den heutigen Talzug ins Delsbergerbecken richtete. Der Untergrund der Synklinale besteht aus Tertiär, aus dem S. 17 erwähnten helvetischen Muschelagglomerat. Diese Muldenfüllung reichte einst bis ins Niveau der hier leicht eingebogenen Rumpffläche; ihr ist die starke Ausräumung zu verdanken und sie ist die Ursache der Bildung des Talschlusses. Die Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) zeigt nur ein sehr sanftes axiales Einfallen der Synklinale von W wie auch von E in die hier bestehende Depression; erst etwa von der Gegend des Moulin Bollmann an besteht ein eindeutiges Gefälle nach E. Die Entstehung der Eintiefung in der Fastebene hängt daher wahrscheinlich mit einer wohl bald nach der letzten Faltung erfolgten Hebung und Tieferlegung der Erosionsbasis um ca. 50 m zusammen; dadurch wurde die schwache Wölbung der Rumpffläche zwischen Plain de Seigne und Moulin Bollmann durchschnitten, was sich in dem somit schon ein wenig durch die Struktur (Kimeridge) bestimmten engern Talstück zwischen den Bahnstationen Lajoux und Saulcy ausdrückt. Die Muldendepression von Plain de Seigne wurde an die Talung des Ta-

beillon angeschlossen; da in ihr weiches Tertiär vorhanden war, trat eine ziemlich bemerkenswerte Ausräumung ein. Nach W keilte das Helvétien indessen aus, und damit hörte auch die Ausräumung auf: das Resultat war ein ziemlich unvermittelter Uebergang von der Mulde auf die Hochfläche, der nur durch die Bildung des erwähnten Talschlusses und einiger weiterer kleiner Einschnitte (einer südlich, 2 nördlich davon) etwas gemildert wurde. Daß die Entstehung des Talbodens von Plain de Seigne und seiner Fortsetzung bis zum Moulin Bollmann unzweifelhaft jünger ist als die letzte Faltung, ergibt sich aus dem Umstande, daß in der Nähe der Station Lajoux, auf dem Sporn von P. 893, der Kimeridge-Kern der durch die letzte Dislokation geschaffenen Mulde mitsamt einem Rest der Rumpffläche erhalten ist; die Eintiefung ging also nicht an der im Querschnitt tiefsten Stelle der Synklinale, sondern daneben vor sich. Im harten Kimeridgekalk unmittelbar nördl. der Station Lajoux wird das Tal bedeutend enger; nach etwa 200—300 m weitet es sich nochmals kurz und biegt wieder in die bei Station Lajoux aufgegebene alte Richtung nach NE ein; zugleich mündet von links, von Le Senneut her, ein Seitentälchen, welches sich parallel dem Streichen ebenfalls im Kimeridge eingetieft hat. Der Hügel von P. 893 ist so fast gänzlich isoliert. — Allzu jung kann das Tal aber anderseits auch nicht sein. In dem ganzen Abschnitt von Plain de Seigne bis wenig oberhalb Moulin Bollmann sind jugendliche Erosionsformen nicht oder nur in sehr geringem Maße ausgeprägt. Das Gefälle ist mehr oder weniger ausgeglichen; die Nebentälchen münden gleichsohlig. Dies läßt auf ein gewisses Alter schließen. Besonders die Nebentälchen sind für uns wichtig; zwei erreichen bei P. 863 (Plain de Seigne) das Haupttal, das eine von N, vom Kessel von Froidevaux, das andere von S von der Oxfordkombe des Montbovats-Gewölbes bei Les Neufs Prés her; ein weiteres mündet bei der Station Lajoux von SE, von der Oxfordkombe des Moulin Dos le Cras her, ein letztes wenig unterhalb bei P. 835 von N, von Les Seignattes her. Alle sollten dabei, wie es beim letztgenannten der Fall ist, konsequent senkrecht zum Streichen der Kette eingeschnitten sein; denn bestimmt datiert ihre Anlage (Durchbruch durch den Rauracien-Schenkel) schon aus der Zeit der letzten Faltung. Besonders das Tälchen von Les Neufs Prés nach Plain

de Seigne erleidet aber eine Knickung, indem es im Sequan eine Strecke weit (ca. ½ km) dem Streichen folgt und erst das Kimeridge senkrecht dazu durchbricht; es ist also im Sequan subsequent eingetieft. Ich nehme an, dieser Zustand habe sich schon auf der eingebogenen Rumpffläche herausgebildet und sei beim weitern Einschneiden verstärkt worden. Auch das Tälchen von Froidevaux zeigt, unmittelbar vor seiner Mündung, eine Umbiegung; sie wurde jedoch im Kimeridge selbst angelegt, allerdings in dem flach liegenden des Muldenkerns. Gerade diese Tatsache beweist uns, daß die Nebentälchen, vielleicht mit Ausnahme desjenigen von Les Seignattes nach P. 835, antecedent der letzten Hebung sind; denn vom jetzt noch bestehenden Tal von Plain de Seigne aus hätte sich kaum ein Bach ihm ein kurzes Stück weit parallel rückwärts in dem harten Kimeridgekalk eingeschnitten; allenfalls wäre das Einschneiden senkrecht zum Streichen erfolgt. — Immerhin scheint es mir wahrscheinlich, daß zwischen der letzten Faltung und der Hebung keine allzu lange Zeit verstrichen ist. Nach der letzten Faltung wurde die Mulde von Plain de Seigne — wir ersehen es auf der Isohypsenkarte der Peneplain (Tafel 6) — wie das Becken von Bellelay zur abflußlosen Wanne, demnach zum Polje mit unterirdischer Entwässerung. Durch die Hebung, bezw. die Tieferlegung der Erosionsbasis konnte indessen der Anschluß an das oberflächliche Gewässernetz wieder hergestellt werden, was beim Becken von Bellelay nicht mehr gelang. Ob die Hebung mit tektonischen Bewegungen im Rheintalgraben am Ende des Pliocaens (Ablenkung des Rheins nach N) zusammenhing, kann erst festgestellt werden, wenn das Birstal von Delsberg bis Basel morphologisch genau untersucht ist. Jedenfalls dauerte die oberirdische Entwässerung der Mulde von Plain de Seigne durch das im obern Teil heute noch vollständig erhaltene, aber jetzt meist trockene Tabeillontal bis ins Quartär hinein an; erst etwa im mittleren Diluvium — vorrißzeitlich — kam es infolge einer weitern Senkung der Erosionsbasis zu einem neuen tiefen Eingriff.

Wenig oberhalb des Moulin Bollmann stehen wir, wenn wir von Plain de Seigne kommen, an einem zweiten ausgesprochenen Talschluß (im Rauracien). Von hier weg ist das nun „Combe Tabeillon“ genannte Tal charakterisiert durch die völ-

lige Freilegung der Strukturformen der Hauptfaltung. Die Anzeichen der letzten Faltung, die sich in der verbogenen Fastebene kundgeben, sind gänzlich zerstört; es ist daher sehr begreiflich, daß man bis jetzt den Lauf des Tabeillon stets als antecedent der letzten Aufwölbung angenommen hat. Das Böschungsprofil ist in der Weise, wie es R. Fluck (Lit. 31, S. 196 ff.) schildert, sehr schön entwickelt: die harten Kalke brechen steil, zum Teil in Flühen ab, während in den weichen Mergeln und Tonen der Hang sanfter geneigt ist. — Beim Moulin Bollmann befinden wir uns im Oxfordien und Callovien des Südschenkels der bei der Hauptfaltung aufgerichteten Velleratkette. Der Bach ist hier durch die Felsbarre des Rogensteins, die er wenig später durchbricht, etwas gestaut und hat kein großes Gefälle; die Stauung wurde noch künstlich durch die Schaffung eines Dammes vergrößert, so daß ein kleiner Weiher entstand. Von der Mühle aus wurden nach allen Seiten in den Oxford- und Callovientonen subsequente Rinnen angelegt: nach SW eine gegen Sur les Roches, nach E eine gegen den Sattel bei P. 881 (die dortige Fläche ist eine ausgesprochene Schichtterrasse über dem Absturz der Rogensteinwand); die Straße nach Saulcy folgt bis zum Dorfe durchwegs dem weichen Oxfordstreifen, der allerdings jenseits der Fläche von P. 881 von einem von der Combe de Sceut (P. 692) her rückwärts durch den Rogenstein eingreifenden Gewässer angezapft worden ist. Auch der Oxfordton westl. der Station Saulcy wurde etwas ausgeräumt; wichtiger ist jedoch die Kombe, welche sich nördl. der von der Straße Station Saulcy-St. Brais außen umgangenen, von der Bahn in einem Tunnel durchfahrenen harten Schichtrippe der Dalle nacrée in den Callovienmergeln gegen Pré Villat und Les Seignattes eingetieft hat. — Die subsequenten Ausräumungen in der Umgebung des Moulin Bollmann sind in ihren untern Teilen natürlich ebenso jugendlich wie der Einschnitt des Tabeillon; in den obern Partien, z. B. bei Pré Villat oder in der Nähe der Fläche von P. 881 dürften sie dagegen bereits als Folge der Bildung des ältern Tabeillontals entstanden sein.

Bei der untern Säge des Moulin Bollmann durchbricht der Bach mit ziemlich starkem Gefälle den Hauptrogenstein, welcher 60—80 m höher an der Bahnlinie in einem großen Steinbruch abgebaut wird. Im Kern des Gewölbes tritt unterer Dog-

ger auf, in welchem sich bei P. 692 eine kleine Weitung gebildet hat. Bald treten jedoch die Rogensteinwände — nun die des Nordschenkels — wieder näher; von W mündet das Rinnsal aus der Ausräumungszone von St. Brais, welches in seinem obern Lauf — von der Station St. Brais an aufwärts — als subsequentes Gewässer wohl ebenfalls zur Zeit des ältern Tabeillontales bestanden hat. — Besonders eng, fast schluchtartig, wird das Tal beim Durchbruch durch das senkrecht stehende Rauracien, welches von der Erosion als Felsmauer herauspräpariert worden ist. Schroff steigen seine Wände etwa 80 m hoch an; in ca. 740—750 m Höhe ist jedoch der Kalk auf beiden Talseiten nach oben durch eine horizontale Linie abgeschnitten. Diese Eckfluren — denn um solche handelt es sich — können in unmittelbaren Zusammenhang mit dem ältern, oberhalb der Station Saulcy noch erhaltenen Tabeillontal gebracht werden, wie das beigelegte Längsprofil des Tales (Tafel 7) gut erkennen läßt. Der Bach querte also im Frühdiluvium in ungefähr 740 bis 750 m Höhe das Rauracien und sägte sich dann senkrecht die heutige 80 m tiefe Schlucht ein. Reste des ältern Tales lassen sich auch im Rogenstein nördl. des Moulin Bollmann z. B. am Vorsprung von P. 815 und dann wieder, ebenfalls im mittleren Dogger, südöstl. der Station St. Brais in ca. 780 m Höhe feststellen.

Unterhalb des Durchbruches durch das Rauracien wird der Bauplan des Tales einfacher (Fig. 9); die durch die letzte Faltung geschaffene Mulde fällt hier mit der in der wichtigsten Dislokationsperiode entstandenen Synklinale ungefähr zusammen. Die Folge ist, daß von der Bahnstation der Combe Tabeillon an der junge Einschnitt in den nur ganz schwach nach SE einfallenden Sequan- und — weiter unten — Kimeridgekalken des Muldenkerns erfolgt ist. Das Gefälle ist in dem harten Gestein noch beträchtlich, aber doch ziemlich ausgeglichen. Auch das Profil des Talquerschnitts bleibt sich ungefähr gleich. Sehr gut haben sich an den beiden Flanken die Reste des ältern Tabeillontals erhalten können; so gehört z. B. am Südhang die flache Lehne von Poiveux (P. 709) dazu, die besonders schön am Rande des vom Hofe Combe Tabeillon her nach rückwärts erfolgten Bacheinschnitts hervortritt, ferner die durch schwache Geländeknicke gekennzeichneten, aus

Bergsturzmaterial bestehenden Gehänge von Dos la Charbonnière-Pâturage de l'Envers (P. 632, P. 618) südl. von Glovelier, weiterhin im Delsbergerbecken Flächenstücke südl. Bassecourt (P. 579), südl. Courfaivre (Terrasse in ca. 570 m Höhe), zwischen Courfaivre und Courtételle auf beiden Seiten (P. 548 südl. Le Gretschat im S entsprechend Terrasse in 540 m bei Mét. de Chaux im N), endlich zwischen Courtételle und dem Mont Chaibeux (Peut Crât 537,2 m). — Auf der Nordseite des Tabeillontales ist vor allem die Terrasse von Foradrai zu nennen (ca. 680 m). Auf ihr erhebt sich isoliert der Hügel von Cotate (P. 727), den die Bahn in einer weiten Schleife umfährt; M. Birkhäuser (Lit. 8, S. 291) faßt ihn „als ein aus dem südöstl. Malmschenkel abgesacktes Schichtpaket" auf; „damit erklärt sich die Bresche, welche die Rauracienflanke bei P. 718 aufweist." „Offenbar ist das Rauracien auf dem untern, mergeligen Sequan abgeglitten." Diese Annahme ist wohl als einzig richtige zur Erklärung herbeizuziehen; doch ist die Bresche nachträglich durch einen Seitenbach des Tabeillon erweitert und verändert worden. An diesem Bach lassen sich deutlich die beiden Erosionszyklen feststellen: das ältere Tälchen wurde nach der Sackung des Cotate-Hügels geschaffen; dabei wurde die Oxfordkombe von P. 718 aus nach beiden Seiten (Finage des Longs Prés und Glacenal) ausgeräumt. Nach dem jungen Einschneiden des Hauptgewässers tiefte sich auch der Nebenbach ein, aber bis heute noch nicht weiter als bis zur Terrasse von Foradrai, d. h. zum alten Talboden. Das Profil des Seitentälchens erleidet etwa bei P. 679 eine starke Knickung. — Ebenso deutlich ist die Umbiegung vom alten Tal in die Talsteile des jugendlichen Einschnitts in dem Bachgraben von Moëbrai nach Glovelier (Combe du Bé, ungefähr bei P. 650, d. h. im Niveau des ältern Talbodens), sowie auch, außerhalb des Bereiches des eigentlichen Tabeillontales, in demjenigen von der Caquerelle ins Bois de Raube (Combe des Tufs, bei La Blanche gleichfalls in 650 m Höhe). Im ersten Fall ist der obere Teil der schluchtartigen Combe du Bé viel älter als der untere; die Ausräumung der Oxfordkombe von Moëbrai nach Montrueslin hat sich schon lange vollzogen; der Rogensteinscheitel ist an dieser Stelle sehr stark abgetragen worden und erhebt sich nicht mehr so hoch wie der Rauracienschenkel. Im

zweiten Falle ist in jüngerer Zeit das Schlüchtchen von Les Lavoirs nach Le Moulin zwischen Séprais und Montavon und weiter bis P. 646 eingesenkt worden; das Gefälle ist dabei im hintersten Teil zwischen P. 646 und Le Moulin besonders stark. Bei P. 646 setzt ein kurzes flacheres Talstück ein; dann folgt der Talschluß gegen die Caquerelle. Die Abtragung war hier nicht so stark wie bei Moëbrai, wo allerdings von der andern Seite der Doubs eingriff; auf der Höhe der Caquerelle ist, wie wir gesehen haben, die Rumpffläche im Gegensatz zum Doggerkamm bei Moëbrai erhalten geblieben.

Das spätpliocaene—frühdiluviale Niveau ist demnach zum Teil auch in den seitlichen Einschnitten noch ausgeprägt. Bei Sceut dessous fällt es allerdings gerade in die Höhe der Anzapfungsstelle des Oxfordiens (ca. 730—740 m); die Ausräumung der Oxfordkombe ist deshalb dort größtenteils alt, das Tälchen von der Station Combe Tabeillon hinauf nach Sceut dessous dagegen ausgesprochen jugendlich. — Ebenfalls jung ist endlich der durch Rückwärtserosion vervollständigte Einschnitt vom Hofe der Combe Tabeillon nach S in die Oxfordkombe des Nordschenkels der Velleratkette. Die Knickstelle findet sich hier in der Kombe etwas unterhalb Bonnabez-dessous; nach aufwärts entspricht die Ausräumung dem ersten Erosionszyklus.

Im ganzen sehen wir also, daß die Ausbildung des Tabeillontals und seiner Nebentälchen sich in zwei wohlentwickelte Phasen gliedern läßt. In der ersten entstand durch Eintiefung in der Rumpffläche das ältere Tal, welches bei Plain de Seigne und abwärts bis kurz vor Moulin Bollmann noch vollständig, weiterhin in Terrassenresten bei Foradrai etc. und in Eckfluren erhalten ist; in der zweiten Phase bildete sich der jetzige Einschnitt unterhalb des Moulin Bollmann, der noch vollkommen jugendfrische Erosionsformen zeigt.

b) Das Tal Combe des Beusses-Undervelier.

Auch im Tal Combe des Beusses-Undervelier, welches mitsamt dem nördl. Verlauf im obersten Teil genau der in der letzten Faltungsperiode entstandenen Mulde von Undervelier

entspricht, können wir zwei Erosionszyklen unterscheiden; die Formen des ersten sind allerdings lange nicht so gut erhalten wie im Tabeillontal; besonders in der Gegend von Undervelier hat eine sehr starke jugendliche Ausräumung stattgefunden, welche die Reste des ältern Tales zu einem sehr großen Teil zerstört hat.

Beginnen wir im obersten Abschnitt nördl. Lajoux. Wir haben dort bereits eine kleine Klus, die durch die Struktur der durch die Hauptfaltung gebildeten Raimeuxkette verursacht worden ist, kennengelernt. Ihr ebener Boden liegt in den Oxfordtonen ca. 900—910 m hoch; er entspricht genau dem Boden des ältern Tales, welcher hier noch vollständig intakt ist. Schon am nördl. Ausgang der Klus, beim Durchbruch durch das Rauracien, stoßen wir indessen auf junge Erosionsformen; das Gefälle nimmt rasch zu und der nach E umbiegende Graben erhält ein typisch V-förmiges Querprofil. An seinen Rändern sind kaum kleine Terrassenreste des frühdiluvialen Tales wahrzunehmen, nicht einmal an der Mündung des seitlichen Einschnittes, welcher nach S in die schon früher ausgeräumte Oxfordzone von La Seigne hinaufführt. (Die Stufen dieses Nebenbaches sind in den harten Schichten, im Rauracien und im Kimeridge, angelegt worden, während in der Mitte und zu unterst im etwas weicheren Sequan das Gefälle um eine Spur geringer ist.) Erst bei Combe ès Monin findet sich am südlichen Talhang bei P. 846 im Kimeridge ein deutlicher Geländeknick, eine Terrasse, welche sich mit dem alten Talboden im Oxfordien oberhalb Les Beusses sehr gut verbinden läßt. — Ca. ½ km nach E stehen wir im Sattel von Blanche Maison (ca. 920 m), den ich ebenfalls als Rest der alten Entwässerungslinie ansehen möchte. Das heutige Tal verläuft zwar etwas nördlich im Sequan (zwischen ihm und Blanche Maison besteht eine schwache Erhebung auf 840 m); es ist jedoch so tief eingeschnitten und weist so steile Hänge ohne auch nur eine Spur einer Terrasse auf, daß die Annahme sehr nahe liegt, es sei von unten her subsequent in dem wie schon gesagt weniger widerstandsfähigen Sequan angelegt worden und habe den bei Combe ès Monin geradeaus über Blanche Maison fließenden Bach angezapft. Für diese Ansicht spricht auch die Tatsache, daß die von zwei Punkten dieses jungen Tales aus angeschnittene südl. Oxfordkombe der

Vellcratkette südl. La Racine durchaus jugendliche Ausräumungsformen zeigt; das Gefälle der Kombe von W (Saulcy) wie von E her ist durchgehends ziemlich stark und einheitlich; Knickstellen im Profil kommen keine vor. Das will zwar nicht etwa heißen, die Ausräumung habe nicht schon vom ältern Tale von Combe des Beusses-Undervelier her eingesetzt; sie ist aber sicher von derjenigen, die vom jungen Einschnitt unterhalb der Combe ès Monin ausging, weit überflügelt worden.

Im E von Combe ès Monin-Blanche Maison nimmt das Gefälle sowohl des jungen wie auch des ältern Tales (siehe Längsprofil, Tafel 7) plötzlich beträchtlich zu; schon nach kurzer Strecke wird es indessen wieder sanfter. Diese Knickung ist ziemlich sicher wiederum durch das Tertiär begründet, welches bei P. 631, etwas westl. Pré de Joux einsetzt und stark ausgeräumt wurde, während in den Malmkalken die Eintiefung naturgemäß zurückblieb. — Der junge Talboden von Pré de Joux ist ziemlich breit; vom ältern Tal ist nicht mehr viel zu sehen, da die Gehänge nachträglich stark verschüttet worden sind; einzig südl. über Pré de Joux ist eine Terrasse in etwa 700 m Höhe zu erwähnen, die ihm entsprechen dürfte. Von S her münden in dieser Gegend die beiden Bäche, welche den Doggeraufbruch von Rebévelier ausgeräumt haben; ihre Einschnitte sind bis weit hinauf, z. B. bis in den Rogenstein bei Les Effondras, jugendlich; einzig der obere Teil des Kessels vom Weiler Rebévelier gegen Les Cerniers de Rebévelier scheint schon spätpliocaen—frühdiluvial angelegt zu sein.

Auf dem weitern Wege gegen Undervelier stoßen wir auf die merkwürdige Hügelgruppe von Le Mentois, welche das ganze Tal versperrt; ihr Aufbau ist von M. Birkhäuser (Lit. 8, S. 268—69) genau untersucht worden. Die Hügel (P. 642, 611, 595) entsprechen danach alle aufgerichteten Köpfen von Delsbergerkalk, während die dazwischen vorhandenen weicheren Gesteine der Molasse alsacienne und des Helvétiens Anlaß zur Ausräumung durch Denudation gegeben haben. Der südlichste, gleichfalls isolierte Felsrücken (P. 618) besteht aus Kimeridgekalk; in das Kimeridge hat sich dort der Bach tief eingefressen; anstatt daß er sich seinen Lauf in dem viel weicheren Tertiär angelegt hat, durchfließt er nun eine enge Schlucht, bevor er nach Undervelier gelangt. Die Entstehung dieser eigenartigen

Verhältnisse ist nur möglich, wenn wir uns den ältern, frühdiluvialen Talboden über all den verschiedenen Hügeln vorstellen. Tatsächlich finden wir auch eine entsprechende Terrasse in ca. 650 m Höhe im Kimeridge des nördl. Muldenschenkels, die sich gegen eine Eckflur am Eingang der Klus von Undervelier zieht. Vor dem letzten Einschneiden floß nun der Bach offenbar am südl. Talrande auf dem Kimeridge; daß er sich im Kalk eintiefte, ist ein Beweis dafür, daß mit der Tieferlegung der Erosionsbasis eine Hebung verbunden war; denn sonst, wenn bei einer Senkung im Unterlauf des Sorne-Birsgebiets, z. B. im Rheintalgraben, das Eintiefen von dorther nach rückwärts erfolgt wäre, hätte sich die Erosion sicher an das wenig widerstandsfähige Tertiär gehalten und die Schlucht im Kimeridge wäre niemals entstanden.

Unterhalb Le Mentois erreichen wir das Dorf Undervelier, wo der „Le Miery" genannte Bach in die Sorne mündet.

c) Das Sornetal.

Das Sornetal gliedert sich im ganzen in drei Abschnitte, nämlich in das Muldental von Bellelay bis zum Eingang der Pichouxschlucht, in das Quertal von dort bis Berlincourt und in das breite Tal im Delsbergerbecken von Berlincourt bis Delsberg. Uns interessieren vor allem die beiden obern Teilstücke.

Das Muldental des Petit Val gabelt sich nach W infolge der auftauchenden Antiklinale von Béroie-Pâturatte. Der südlichere Zweig ist der wichtigere; nach der letzten Faltung senkte er sich gegen E; als sein konsequenter Abfluß entstand die Sorne. Das oberhalb gelegene Becken von Bellelay kann man mit der Synklinale von Plain de Seigne vergleichen; es wurde einzig bei der bald nach der letzten Aufwölbung erfolgten Bildung des ältern Sornetalniveaus nicht an dieses angeschlossen, sondern blieb ein Polje mit unterirdischem Ablauf des Wassers. — Der spätpliocaene Talschluß der Sorne ist beim Kloster Bellelay heute noch gänzlich erhalten; der Talboden zog sich in den im Tertiär gelegenen heutigen Sattel von P. 885 und dann hinaus in die breite Synklinale des Petit Val. Die jüngere Ausräumung, die lange nicht so stark war wie bei Undervelier, hat ihn hier großenteils bestehen lassen (Fig. 5). Wir finden ihn z. B. auf dem Sporn von Sornetan (P. 851, P. 852), bei Souboz (P. 850),

sowie bei Monible (P. 875). In der Nähe von Monible mündete der Abfluß des nördl. Muldenzweiges, der aus dem Talschluß bei Fornet dessous kam; sein Talniveau läßt sich noch in einer Terrasse in ca. 900 m Höhe bei Entier erkennen. — Das jüngere Sornetal tiefte sich im Tertiär ohne weiteres ein; interessant ist einzig die Tatsache, daß das Einschneiden gegen den Talschluß bei Fornet von 2 Stellen ausging, von Châtelat wie direkt von der Pichouxklus her. Auf diese Weise wurde der Hügel von Monible vollkommen isoliert, und bis in die Gegenwart floß das betreffende kleine Gewässer von Zeit zu Zeit geradeaus nach E, dann auch wieder nach S gegen Châtelat ab. — Bei Châtelat kam es durch den neuen Erosionszyklus zu ähnlichen Verhältnissen wie unterhalb der Combe ès Monin in der Mulde von Undervelier. Durch die Erosion wurden die Strukturformen des unbedeutenden, bei der Hauptfaltung angelegten Châtelatgewölbes freigelegt; der Bach schnitt sich in der kleinen, nördl. davon liegenden, mit Tertiär gefüllten Synklinale ein und durchsägte rückwärts den harten Portlandkalk der Falte, bis er in das alte, südl. des Portland-Felskopfes (P. 905) durchziehende Tal gelangte. Die Ausräumung war indessen dort nicht mehr stark; der alte Talschluß gegen Bellelay konnte bestehen bleiben.

Der Eintritt der Sorne in die Klus von Pichoux vollzieht sich äußerst eigenartig: der von W heranfließende Bach fällt über die seitliche Wand des Durchbruches durch das Portlandien in das tiefer eingeschnittene Bett der aus dem Süd- und Ostteil des Petit Val herkommenden Gewässer; diese haben offenbar stärkere Erosionskraft besessen als die Sorne. (Der am Nordhang des Moron, in der südl. Verlängerung der Klusen entspringende Bach hat die Lücke zwischen den Terrassen von Sornetan und Souboz geschaffen und den Talrest von Sornetan als Sporn herauspräpariert). — Die Pichouxklus weist namentlich in ihrem obern Teil ein starkes Gefälle auf; die Ursache liegt, wie ich bereits gesagt habe, in der durch die größere Mächtigkeit des Tertiärs begründeten höhern Lage der Synklinale des Petit Val, außerdem in dem Umstand, daß die in der Hauptfaltungsphase gebildete Raimeuxkette, deren Strukturen bei der Entstehung der Klus wieder aufgedeckt wurden, an ihrem Malmsüdschenkel eine Knickung und Ausbiegung nach S

aufweist; das Wasser war so gezwungen, auf eine größere Strecke (ca. 1 km) sich in dem in beinahe horizontale Lagerung übergehenden Kalk einzuschneiden, was natürlich mehr Zeit beanspruchte als bei einem einfachen Gewölbe mit steil einfallenden Malmschenkeln. Wenn wir das Längsprofil der Sorne betrachten, könnten wir bei der starken Knickung im obern Teil der Schlucht zunächst an den Ansatz, an die Talsteile eines neuen Erosionszyklus glauben; die an den absteigenden Kalkkämmen zu beobachtenden Eckfluren belehren uns indessen bald, daß auch das ältere Talniveau hier eine Biegung und infolgedessen ein größeres Gefälle erleidet. Eine besonders ausgeprägte Eckflur findet sich auf jeder der beiden Talseiten im Kimeridge des Südschenkels wenig unterhalb des Eingangs der Klus in ca. 830 m Höhe; ihr entsprechen Eckfluren beim Umbiegen des Rauraciens aus der horizontalen in die fast vertikale Lagerung in ca. 720—740 m und solche im Rauracien- und im Kimeridgenordschenkel in ca. 660—680 m Höhe, d. h. nur noch sehr wenig über dem Niveau, das wir bei der Ausmündung des ältern Muldentales von Undervelier-Combe des Beusses vorgefunden haben. Eckfluren, die Reste eines andern Talniveaus als des spätpliocaenen—frühdiluvialen darstellen, sind dagegen sowohl in der Klus von Pichoux wie in der von Undervelier nirgends zu erkennen. — Der oberste Abschnitt der Schlucht von Pichoux ist besonders wild; dem Durchbruch durch die schroff aufstrebenden Kimeridgekalke folgt derjenige durch das ebenso widerstandsfähige Rauracien; die kurze, weniger felsige Partie dazwischen ist im Sequan gelegen. Da, wo die Schichten horizontal liegen, hat sich der Bach bereits durch das Rauracien durchgefressen und das Oxfordien erreicht; zu großer Ausräumung ist es indessen nicht gekommen. Das Böschungsprofil läßt hier den verschiedenen Härtegrad der einzelnen Malmhorizonte besonders anschaulich hervortreten; wir erkennen sehr schön, daß im Sequan die Hänge weniger steil sind als im Rauracien und Kimeridge. Eine Ausweitung stellt sich in der Klus erst da ein, wo die Oxfordtone umbiegen und sich auf beiden Talseiten nach oben ziehen; in ihnen sind kleine Komben angelegt worden. Im Hauptrogenstein kommt es nochmals zu einer Verengung; im Kern des Gewölbes ist der untere Dogger freigelegt. Der Nordschenkel der Antiklinale bringt dieselben Verhältnisse in

umgekehrter Reihenfolge, d. h. Verengung im Rogenstein, Ausweitung im Oxfordien, Verengung im Malmkalk, vor allem im Rauracien und Kimeridge; dann treten wir in die Mulde von Undervelier.

Die untere Sorneklus, die nördl. Undervelier, zeichnet sich durch ihre einfache und besonders schön aufgeschlossene Struktur aus. Der Velleratkette ist gerade an dieser Stelle südl. das kurze Ste. Colombegewölbe angelagert, welches gleichfalls vom Bache durchbrochen ist. Wie in der Pichouxschlucht sind Eckfluren vorhanden: vor allem am Rauraciensüdschenkel der Hauptantiklinale in ca. 600—620 m Höhe (im Profil weist die Kammlinie unterhalb 600 m einen fast senkrechten Absturz auf), dann im Rogenstein in etwa 600 m Höhe und wieder im Rauracien und, besonders ausgeprägt, im Kimeridge des Nordschenkels (560—580 m). Bei Berlincourt trifft das alte Talniveau der Sorne mit dem des Tabeillon, welches wir besprochen haben, zusammen. — Die Klus von Ste. Colombe geht bis ins Sequan, welches ausgeräumt worden ist; Engstellen befinden sich im Kimeridge am obern wie am untern Ende, bezw. am Eingang der Hauptklus. Bei den Forges d'Undervelier besteht eine Weitung; auf beiden Seiten ziehen sich im Oxfordien Komben nach oben. Stark ausgeräumt ist auch der Kern der Antiklinale, in dem der untere Dogger aufgeschlossen ist, während im Rogenstein sowohl beim auf- wie beim absteigenden Schenkel naturgemäß Verengungen vorliegen. Besonders schluchtartig ist endlich der Durchbruch durch den Malmnordschenkel. Kurz vor Berlincourt treten die Hänge auseinander: wir gelangen in das weite Delsbergerbecken.

d) Das Trametal.

Von den von den Freibergen aus nach E sich richtenden Muldentälern weist dasjenige der Trame den einfachsten Bauplan auf. Wieder können wir wie bei den bis jetzt beschriebenen Tälern zwei Erosionszyklen feststellen, von denen das Produkt des ersten in Terrassenresten über dem jüngern Einschnitt erhalten geblieben ist. — Der ursprüngliche konsequente Abfluß war wiederum durch die bei der letzten Faltung erzeugte Neigung der Mulde nach E gegeben; bei der oberpliocaenen Hebung wurde der schon durch die Tektonik (siehe Isohypsen-

karte der Peneplain, Tafel 6) bedingte Talschluß der Combe des Arses verstärkt. Die Combe des Arses zeigt heute zwei gefällsreiche Partien und dazwischen ein ziemlich ebenes Talstück bei P. 982. Ohne Zweifel haben wir in dem flachen Boden das ältere Tal vor uns, welches nach aufwärts (nach Westen) in seinen steilen Abschluß übergeht. Talabwärts läßt es sich gut verfolgen: wir treffen seine Reste in Terrassen und flachen Lehnen, am nördlichen Hange oberhalb La Cernie (970—980 m) auf Kimeridge, dann bei der obern Schleife der Bahn von Tramelan nach Le Noirmont (ca. 970 m) auf Torton und weiterhin nördl. Tramelan an der sanften Lehne von Les Tartins und Fin du Tilleul (940—960 m) gleichfalls auf oberm Miocaen, am südl. Hange bei Fin de l'Envers (960—970 m) und unterhalb Les Combattes (940 m) auf Kimeridge. Das jüngere Tal ist in der Gegend von Tramelan in den weichen Tertiärschichten eingetieft, ohne daß besonderes zu erwähnen wäre. Erst unterhalb Tramelan komplizieren sich die Verhältnisse; von da bis La Tuilerie verläuft der jugendliche Einschnitt in den Portlandkalken des Nordschenkels des südl. anschließenden Gewölbes. Die Muldenachse zieht sich etwas nördlich hin, in der mit Tertiär erfüllten, leicht ausgeräumten Kombe von P. 892, über welche südlich der Felsrücken aus Portlandien etwas emporragt. Offenbar liegt hier ein ähnlicher Fall vor wie bei Le Mentois in der Synklinale von Undervelier: das Niveau des ältern Trametals befand sich über dem Portlandfelsen in etwa 920—930 m Höhe; der Bach schnitt sich darauf nicht im weichern Tertiär ein, sondern in dem härtern Malmkalk. Die Tertiärschichten wurden nachträglich durch subsequente Erosion etwas abgetragen.

Unterhalb La Tuilerie ist von Terrassenabsätzen auf beiden Talseiten zunächst nichts zu sehen; die Gehänge sind ziemlich steil und alle Reste des ältern Talniveaus sind abgespült. Erst nach ca. 1½ km, in der Gegend von Orange, läßt sich das spätpliocaene—frühdiluviale Tal wieder erkennen. Wahrscheinlich richtete sich die Trame damals in ca. 870—880 m Höhe über den Sattel von Orange, der später durch glaciale Aufschüttungen noch umgestaltet wurde, hinweg in das Gebiet von Tavannes; der Portlandhügel von Orange (P. 899), der im mittleren und zum Teil im obern Pliocaen unter der Rumpf-

fläche verborgen war, ragte über ihren Talboden um weniges empor. Die Anlage des heutigen untersten Tramelaufes etwa von P. 790 (Straße Bellelay-Tavannes) abwärts dürfen wir uns indessen nicht ganz jung vorstellen; es floß hier wohl schon im Frühdiluvium ein Nebenbach der Birs, der gleichzeitig mit dem jüngsten Eintiefen auch stark nach rückwärts erodierte und die Trame auf der Höhe von Orange anzapfte. Auf diese Weise können wir uns die Entstehung des engen, fast schluchtartigen Trametales von unterhalb Moulin Brûlé — P. 790 erklären. Das Gefälle ist allerdings heute ziemlich ausgeglichen.

In dem weiten Tertiärbecken von Tavannes sind ziemlich viele Reste des ältern Talniveaus erhalten. Ich erwähne die Terrassen am nördl. Hange ob Saicourt (P. 855), bei Le Fuet (ca. 860 m), bei Loveresse (ca. 820 m), dann vor allem Flächenstücke in der Umgebung von Chaindon (P. 831 nördl. des Weilers, Haut de Spont 831,7) und solche gegen den Südrand der Mulde (La Motte 824 m). Auch der Birs entlang abwärts ist das Niveau bis gegen Court mancherorts zu erkennen. — Am interessantesten ist aber zweifellos der Umstand, daß der ca. 830 m hoch gelegene Talboden der Klus der Pierre Pertuis sich ohne weiteres in dieses Talsystem einordnen läßt. Damit scheint erwiesen, daß der Abfluß des Val de St. Imier sich ursprünglich ins Birsgebiet vollzog; denn auf andere Art, z. B. durch Rückwärtserosion, wäre es kaum zur Entstehung des überaus flachen, nur sehr schwach nach N sich senkenden Bodens der Klus gekommen; das Gefälle müßte entschieden weniger ausgeglichen sein. Nun sind wir allerdings, wenn wir uns ins St. Imiertal begeben, überrascht, dort keine Terrassenreste vorzufinden, welche sich gegen die Pierre Pertuis ziehen. Wir können zwar ein Niveau über dem heutigen, darin eingetieften Tal feststellen (Terrasse auf der Nordseite zwischen Villeret und Cormoret 800—850 m; Oberfläche des Hügels von Rainson zwischen Courtelary und Cortébert 810—820 m; Terrasse bei Pourpoint südl. über Sonceboz 700—715 m etc.); es liegt indessen beträchtlich unter demjenigen der Pierre Pertuis und läßt sich Suze-abwärts in Eckfluren bis in die Klusen von Reuchenette und Bözingen (Taubenloch) verfolgen. Es ist anzunehmen, der Ablauf des obern Val de St. Imier (bis Sonceboz) habe sich nach der Bildung des spätpliocaenen—frühdilu-

vialen Niveaus des Beckens von Tavannes, der Pierre Pertuis etc. nur während verhältnismäßig kurzer Zeit zur Birs gerichtet; schon sehr bald sei er von einem vom Mittelland her rückwärts einschneidenden Bach angezapft und sein oberhalb Sonceboz im Tertiär gelegener Talboden infolge Ausräumung der weichen Schichten zerstört worden. Das Eintiefen auf das Talniveau von Rainson muß dabei wohl ziemlich rasch vor sich gegangen sein; die Gehänge wurden abgespült und alle Spuren des früheren Laufes restlos vernichtet. Vor der Rißeiszeit entstand dann, analog wie bei Tavannes oder Undervelier, der heutige Taleinschnitt.

2. Das Ausräumungsgebiet des Doubs.

Bei den bisher besprochenen Tälern der von den Freibergen zur Birs abfließenden Gewässer haben wir stets 2 Erosionszyklen vorgefunden; in einem ersten, spätpliocaenen—frühdiluvialen entstand das ältere Niveau, von welchem sich in Talschlüssen, Terrassen und Eckfluren bis heute Reste erhalten haben; im zweiten bildeten sich die heutigen tiefen Einschnitte vollends aus. Im Doubstal liegen nun andere Verhältnisse vor; wir können hier vom Oberpliocaen bis ins Mitteldiluvium nicht 2, sondern 4 Phasen der Eintiefung rekonstruieren, vor allem mit Hilfe von Terrassen, welche gut miteinander in Beziehung zu bringen sind. Allerdings müssen wir dabei vorsichtig ans Werk gehen; denn sehr oft, z. B. bei Vautenaivre oder bei Montfavergier, kommen Terrassen vor, welche vollständig durch die Struktur bedingt sind (sog. Schichtterrassen). Alte Flußterrassen, welche einem frühern Talboden entsprechen, zeichnen sich immer dadurch aus, daß sie mehr oder weniger zusammenhängend, der Talsohle mehr oder weniger parallel, sich den Talhängen entlang ziehen und dabei gleichsinnig talabwärts geneigt sind.

Der Doubs floß, wie wir bereits wissen, schon vor der letzten Faltung auf der Rumpffläche in der gleichen Richtung wie heute; bereits damals beschrieb er den Bogen in der Gegend von St. Ursanne. Später folgte sein Lauf größtenteils den in der letzten Faltungsphase entstandenen Mulden; einzig

nördl. und südl. Goumois und oberhalb St. Ursanne, vielleicht auch bei Soubey, durchbrach er die Antiklinalen oder fraß sie seitlich an; er war indessen dabei noch keineswegs stark eingeschnitten. Beim Eintiefen in der Rumpffläche muß es zuerst, schon ziemlich bald, zur Bildung eines Niveaus gekommen sein, welches sich heute noch in ca. 660—680 m Höhe bei Montenol ob St. Ursanne vorfindet. Die betreffende Fläche liegt im obern Dogger und wird vom tiefer eingreifenden Doubs-Cañon auf 3 Seiten — im S, E und N — umgeben. Zweifellos war sie bei ihrer Entstehung der Talboden des damals in dieser Höhenlage fließenden Doubs; der Sporn von Montenol, der sie um weniges, um ca. 10—20 m überragt, zeigt in jeder Beziehung das Gepräge eines Gleithanges, wie wir ihn bei einem recenten Flußmäander beobachten können. Der gegenüberliegende, an der Umbiegungsstelle vorhandene Prallhang ist durch die Arbeit des Flusses wohl schon längst zerstört worden; der Gleithang dagegen, der der an der Prallstelle wirkenden Erosion so gut wie gar nicht ausgesetzt war, konnte erhalten bleiben. Die von dem Sporn überragte Terrasse gehört also sicher dem alten Talboden an. Gegenüber, am Ausgang des Tälchens von Malrang, ist bei Sévay eine Terrasse im Sequan in gleicher Höhenlage (683 m) vorhanden. Doubs-aufwärts findet sich in ca. 700—710 m Höhe am Abhang von Grand Essert eine entsprechende Fläche als eine Art von Eckflur (im Kimeridge); vielleicht ist auch eine unter dem Gehängeschutt bei Cras des Parties am südl. Ufer (710—720 m) im Rauracien vorhanden. Sonst ist aber weiter oberhalb außer eventuell bei P. 749 bei Essertfallon am Clos du Doubs (?) und bei Prés de Beaugourd (ca. 800 m) an der Umbiegungsstelle nördl. Vautenaivre (im Sequan) kein Anzeichen dieses ältesten in der Rumpffläche eingeschnittenen Talniveaus zu erkennen; entweder sind alle Ueberreste davon durch die spätere Abtragung beseitigt worden, oder es ist anzunehmen, der Fluß sei etwa oberhalb von Goumois noch auf der Peneplain geflossen und habe sich erst unterhalb darin eingetieft gehabt, was weniger wahrscheinlich ist.

Von der zweiten, etwas jüngern Stufe sind bedeutend mehr Reste erhalten. Eventuell gehören im obern Teil des ins Gebiet der Freiberge fallenden Abschnittes des Doubs-

laufes Flächenstücke bei Le Cerneutal in ca. 780 m Höhe dazu, deren Unterlage Rauracien, Sequan und überschobenes Callovien bilden, welche aber auch Schichtterrassen ähnlich sehen; ihnen entspricht wenig flußabwärts am französischen Ufer ein Niveau in ca. 760—770 m Höhe. Vor allem ist aber etwa 20 km unterhalb, kurz vor Soubey, die Terrasse zu nennen, die sich am Hange des Clos du Doubs bei Le Gros Finage, Froidevaux und La Cernie in einer Höhenlage von ca. 700 m über Rauracien, Oxfordien, oberen Dogger, Rogenstein und wieder über Callovien und Oxfordtone legt und die auch auf der beigelegten, von der Höhe von Les Enfers aus aufgenommenen Photographie (Fig. 11) recht gut hervortritt. Auf der südl. Seite des Tales besitzt sie ein Aequivalent in der flachen, zu P. 714 hinanführenden Doggerlehne oberhalb Les Ormets, welche von P. 714 steil gegen Soubey abbricht; der isolierte, vom Doubs umflossene Hügel der Côte de l'Homenne (650 m) läßt sich in dieses Niveau, das sich natürlich von N wie von S gegen die ursprüngliche Talmitte senkt, ebenfalls einordnen. Wir müssen annehmen, daß der Doubs einst eine Zeitlang in dieser Höhenlage floß und dabei Mäander bildete; beim weitern Einschneiden wurde ein solcher Mäanderbogen im harten Hauptrogenstein eingetieft und konnte bestehen bleiben. Der südl. der Côte de l'Homenne während der Hauptfaltungsphase als Mulde eingeklemmte Streifen von Oxfordton wurde in der Folge subsequent ausgeräumt; er entspricht auf keinen Fall einem alten Doubslauf. — Talabwärts von Soubey stoßen wir bei Montbion am Hange des Clos du Doubs in 630—650 m Höhe wieder auf einen Rest des Niveaus; die betreffende Terrasse ist gänzlich im Hauptrogenstein gelegen. Weiterhin gehört die Oberfläche des Sporns südwestl. über Tariche (ca. 600 m; P. 602) dazu; es ist ein ehemaliger Talboden, auf welchem der Fluß wie bei der Côte de l'Homenne mäandrierte; auch heute beschreibt der Doubs an dieser Stelle einen Mäanderbogen. Fast gegenüber, östl. Châtillon, findet sich in 600 bis 620 m Höhe eine entsprechende Terrasse im Kimeridge (der Sporn bei Tariche liegt im Sequan); abwärts treffen wir in gleicher, vielleicht etwas tieferer Höhenlage Niveaureste am Südhang im Sequan und Kimeridge. Bis in die Gegend von St. Ursanne gehört die Oberfläche des durch eine subsequent

ausgeräumte Oxfordkombe vom Clos du Doubs abgetrennten Rauracienhügels von La Perrière (585 m) dazu, ferner eine Stufe im Bacheinschnitt, der vom Städtchen nach N gegen den Hang von Metschaimé hinaufführt (ca. 580—590 m). Im Landschaftsbild besonders auffällig wird der alte Talboden endlich in der Umgebung von Ocourt. Der Doubs bildet hier mehrere Mäander; an den Gleithängen dazwischen finden sich im Rauracien Sporne, deren Oberflächen (La Vieille Clôture am Nordhang, Roche Palouse am Südhang, Pesses des Vermes am Nordhang) ziemlich eben sind und in einem einheitlichen Niveau liegen (570—590 m, 550—570 m, 550—570 m). Es handelt sich jedoch nicht um die Schichtfläche des hier (in der Mulde) horizontal gelagerten Rauraciens; der Kalk steigt noch etwas höher an (P. 631 bei La Vieille Clôture). Wie im Falle von Côte de l'Homenne und in dem von Tariche müssen wir uns auch hier vorstellen, der Fluß habe seine Schlingen schon in diesem Niveau, welches sich ursprünglich über die ganze Talbreite erstreckte, angelegt und dann seine Mäander im Kalk eingesenkt. Nur auf diese Weise läßt sich m. E. die eigenartige Talform bei Ocourt, wie übrigens auch oberhalb Soubey, erklären.

Der dritte Erosionszyklus des Doubs schuf ein Talniveau, von welchem gleichfalls an manchen Stellen Reste erhalten geblieben sind. Zu nennen sind vor allem die beiden im Rauracien liegenden Terrassen bei Belfond dessous und Belfond dessus (630 resp. 655 m) südl. von Goumois, welche bereits von A. Buxtorf und E. Lehner (Lit. 21) untersucht worden sind (Fig. 10). Buxtorf und Lehner fassen sie als alte Doubsläufe auf, und zwar „deutet ihre große Höhe über dem heutigen Flußniveau am ehesten auf die beiden ältern Eiszeiten des ältern und jüngern Deckenschotters hin". Die geringfügigen Depressionen sind mit einem rißeiszeitlichen Lehm angefüllt, „welcher Brauneisenkonkretionen und vereinzelte Splitter alpiner kristalliner Gesteine führt". Dieses alte Doubstal zieht sich östl. des Rauracienfelsens der Ruine Franquemont hin; der spätere, tiefere Einschnitt westl. davon ist wohl durch Rückwärtserosion geschaffen worden, wobei der frühere Lauf oberhalb, etwa bei Le Theusseret, angezapft wurde; im andern Fall hätte der heutige Cañon in der Gegend von Belfond entstehen müssen. Bei Le Theusseret läßt sich das Niveau von

Belfond übrigens auch erkennen; am französischen Ufer besteht dort in ca. 650 m Höhe eine Eckflur im Rauracien. — Talabwärts, unterhalb Goumois, treten entsprechende Terrassen ebenfalls auf der französischen Seite auf (gegenüberVautenaivre, ob Moulin Jeannotat); am schweizerischen Ufer gehört vielleicht ein Flächenstück im Kimeridge bei Le Breuleux südl. ob Clairbief (ca. 600 m) dazu. Sicher läßt sich westl. über Lobschez am Hange des Clos du Doubs die im Rauracien gelegene Eckflur von Heutatte (590—600 m) in das Niveau eingliedern; unterhalb Soubey folgt die Oberfläche des isolierten Rauracienhügels bei La Réchesse (P. 571). Besonders zahlreich werden die Reste des Talbodens vom Mäanderbogen von Tariche an abwärts bis in die Gegend von St. Ursanne; die Flächen westl. über Chéteval (560—580 m), bei Châtillon (560—570 m), unter Champ de Soubez (540—550 m) sowie am südl. Ufer an der Côte de la Coinaie (ca. 540 m) liegen zwar alle im hier horizontal gelagerten Untersequan, d. h. nicht viel über dem Rauracien, und können entsprechend der weniger starken Widerstandsfähigkeit dieses Horizontes sehr wohl auch als Schichtterrassen, die durch das Böschungsprofil bedingt sind, angesehen werden. Um ausschließliche Denudationsterrassen handelt es sich aber nicht; das alte Talniveau lag sicher in der gleichen Höhenlage; flußabwärts findet es sich auf dem Rauracien bei Ravine in 540—545 m Höhe und, besonders gut erhalten, als Eckflur auf dem Schloßfelsen von St. Ursanne (P. 543; Rauracien). Weiterhin ist es westl. von St. Ursanne bei Le Taure (P. 526) zu erkennen; seine Unterlage ist hier Dogger, wie auch 1½ km unterhalb in der Eckflur bei Champs Raimeux (ca. 500 m). Endlich sind Reste des Tales gegenüber Champs Raimeux am Hange von Pré Martin (ca. 500 m; Rauracien) und südl. über Bellefontaine in der Rauracien-Eckflur von P. 501 vorhanden.

In der vierten und letzten Eintiefungsphase entstand, noch vor der Rißeiszeit, der heutige Cañon. Er reichte damals noch tiefer, bis zu einer Linie, die A. Buxtorf in einer 1922 veröffentlichten Arbeit (Lit. 16) als „hypothetischen Verlauf der Felsoberfläche in der Sohle des Doubstales vor seiner Verschüttung" bezeichnet. Diese tiefste Rinne, welche wie die ältern Niveaus ein ziemlich ausgeglichenes Gefälle besaß, wurde

dann später mit Schottern angefüllt; an verschiedenen Stellen ereigneten sich Sackungen und Bergstürze, welche Flußverlegungen zur Folge hatten. Ich werde auf diese Vorgänge noch zurückkommen. — Die Ueberreste der frühern Talböden sind nicht mehr durchgehend in Terrassen, sondern nur noch stückweise erhalten. Vor allem die ältern Niveaus sind durch die bedeutende Erosionskraft des Doubs stark zerstört worden; aber auch das Tal der dritten Eintiefungsphase ist z. B. bei Ocourt nirgends mehr zu erkennen; dort herrschen die Terrassen der zweiten Phase vor; die der dritten sind durch die Abspülung der Hänge vollkommen abgetragen worden. Ein besonders großes Ausmaß hat die Erosion oberhalb der Mühle von Le Theusseret (südl. Goumois) angenommen; dort sind bis über Biaufond hinaus, bis gegen den Saut du Doubs, außer der fraglichen Terrasse bei Le Cerneutat überhaupt keine Reste der alten Talböden vorhanden. Das Tal war in diesem Abschnitt wohl nie sehr breit; so wurden die Gehänge, als sich der Fluß einschnitt, jeweils rasch abgespült, und heute bestimmen Denudationsterrassen das Landschaftsbild. — Es stellt sich nun noch die Frage nach dem Alter der Eintiefungsphasen. Leider läßt sich hierüber nichts genaues sagen, da frühdiluviale Ablagerungen des Doubs fehlen oder wenigstens nirgends zu finden sind. Sicher ist einzig, daß die tiefste Rinne bereits vor der Rißeiszeit angelegt war; die ältern Niveaus müssen wir uns nacheinander in der Zeit vom obersten Pliocaen bis etwa zur Mindeleiszeit entstanden denken.

Betrachten wir nun noch die Ausräumungen im Doubs-Cañon von Biaufond bis Ocourt. Wie im untern Tabeillontal sind auch hier die Strukturformen der wichtigsten Faltungsphase vollkommen freigelegt, und der Fluß scheint mancherorts, z. B. in der Gegend von Soubey, einen der Hauptfaltung durchaus antecedenten Lauf zu besitzen; in Tat und Wahrheit hat aber nur das starke Einschneiden, die starke Tiefenerosion diese scheinbare Antecedenz verursacht. Das Doubstal mit seiner Umbiegung bei St. Ursanne ist im großen wohl antecedent der letzten Aufwölbung; Kleinformen wie z. B. die Mäanderschlingen oberhalb Soubey oder bei Ocourt haben sich indessen erst nach der letzten Faltungsphase gebildet.

Bei Biaufond mündet von E die tief ausgeräumte Combe

de Biaufond. Verfolgen wir sie nach aufwärts, so gelangen wir zunächst auf flachem, etwas aufgeschüttetem Talboden in weichem Argovien und Untersequan zu P. 635, wo die Combe plötzlich nach S umbiegt; geradeaus setzt sich mit außerordentlich starkem Gefälle ein Nebentälchen gegen Cerneux Godat fort. Das Gefälle der Combe de Biaufond selbst wird nun ebenfalls beträchtlich; die aufeinander überschobenen Kimeridge- und Portlandkalke werden durchbrochen. Nach ca. $1\frac{1}{2}$ km ändert sich der Charakter des von da an Combe de la Ferrière geheißenen Einschnittes wieder; bei Cul des Prés sind die weichen Oxfordtone und Callovienmergel aufgeschlossen und ausgeräumt; durch einen Bergrutsch ist hier ein kleiner Weiher aufgestaut worden. Oberhalb fällt die Talfurche ungefähr mit dem Verlauf der Querverschiebung von La Ferrière zusammen; eine Strecke weit, etwa von Le Fief (P. 845) bis zum Moulin de la Roche (P. 863), ist ihr Boden ziemlich eben; er dürfte dem Niveau der zweiten Eintiefungsphase des Doubs entsprechen. Beim Moulin de la Roche zweigt gegen La Chaux-de-Fonds hinan die Combe du Valanvron ab; geradeaus zieht sich die Combe de la Ferrière, nun wieder mit größerem Gefälle, weiter und geht schließlich bei Le Bas Monsieur allmählich in der Rumpffläche auf. — Dieses ganze Nebentalsystem des Doubs ist zweifellos durch oberflächlich fließende Gewässer, vor allem durch die von La Chaux-de-Fonds herkommende Ronde, geschaffen worden; heute ist es bis kurz vor Biaufond trocken; das versickerte Wasser kommt bei Biaufond in Quellen zum Vorschein.

Der Doubs selbst durchbricht bei Biaufond den Callovienkern der ihn hier kreuzenden Spiegelbergkette der Hauptfaltungsphase. Im weichen obern Dogger und Argovien ist an dieser Stelle eine Weitung entstanden, die sich zum Flußübergang gut eignet; ähnliche Ausweitungen treffen wir ja auch bei den Brücken von Goumois und Soubey. Einzig der harte Birmenstorferkalk des Argoviens bildet direkt über den Häusern von Biaufond eine kleine Felsstufe (unweit nördlich erfolgt der Facieswechsel zum Rauracien). Unterhalb dieser Art von Klus bleibt der Charakter des nun in der Längsrichtung verlaufenden Tales bis Le Theusseret ungefähr derselbe. Der Doubs fließt in einer Synklinale; er hat aber den ganzen Malm-

kalk fast bis zum Oxfordien durchsägt, so daß nun zu beiden Seiten die Wände des horizontal liegenden Rauraciens und höher des Kimeridges schroff aufragen, während das Sequan ein etwas weniger steiles Böschungsprofil zeigt. Das Kimeridge ist zunächst nur in Teilstücken an der Côte derrière les Cras und in dem isolierten Felskopf von P. 831 beim Hofe l'Aiguille erhalten; erst von der Côte de Fromont an ist es nicht mehr unterbrochen. Es baut u. a. über La Goule den Rücken von Gipoix auf, welcher nach der Seite der Freiberge scharf abbricht. Zwischen diesem Kimeridgestreifen und der Spiegelbergkette ist im Sequan von deren Nordschenkel mancherorts, z. B. bei l'Aiguille oder bei Le Cerneux Crétin, eine Denudationsterrasse entstanden. — Die Spiegelbergkette ist von Fromont an bis gegen den Spiegelberg stark nach N überschoben; das Rauracien tritt z. B. erst an den Felsen der Sommêtres wieder auf. Im Rogensteinkern des Gewölbes ist es südl. Le Cerneutat zu Sackungen gekommen. — Der Doubs erhält in diesem ganzen Abschnitt nur sehr wenige Zuflüsse, welche sich keine großen Einschnitte gegraben haben und die zum Teil noch in Fällen über die Kalkstufen hinunterstürzen.

Bei Le Theusseret wendet sich der Fluß nach N. Es folgt ein Quertalstück quer durch die Vellerat- und die St. Braiskette; zunächst mit einer Engstelle unter dem Rauracienkopf der Ruine Franquemont (Fig. 10). Die Mulden zwischen den Antiklinalen sind hier sehr schmal; sehr schön läßt sich z. B. die Umbiegung des Rauraciens derjenigen von Les Sairins-Fin des Plaimbois nördl. Goumois beobachten; die senkrechte Südflanke der Synklinale, d. h. der Nordschenkel der Velleratkette ist im tiefsten Teil als sog. „Affenfelsen" bekannt. Goumois selbst ist in der Weitung des ausgeräumten Oxford- und Oberdoggerkerns der Velleratkette gelegen, so wie Vautenaivre im Doggeraufbruch der nördl. folgenden St. Braiskette. Vautenaivre befindet sich allerdings auf einer Terrasse, der Denudationsterrasse des Calloviens, ca. 150 m über dem Fluß; das St. Braisgewölbe ist hier bis zum Rogenstein aufgeschlossen, in den sich der Bach von Vautenaivre eine tiefe Schlucht eingefressen hat. Dieses Nebengewässer des Doubs, das einzig größere zwischen Biaufond und St. Ursanne (Combe de Malrang), hat, wie wir bereits wissen, nach rückwärts den ganzen Malmkalk

durchsägt und sich bis oberhalb Les Pommerats eingeschnitten; seine Gefällsstufen fallen mit den harten Gesteinen zusammen; im Callovien und Oxfordien bei Sur le Rang ist das Tälchen etwas offener und weniger steil. Zu erwähnen ist in dieser Gegend der 822 m hohe Rauracienklotz südl. Chez le Forestier; er „schwimmt" auf den Oxfordtonen und bricht nach allen Seiten schroff ab. Offenbar hat ihn die Erosion im Winkel zwischen dem Bach von Vautenaivre und dem kleinen, von N her einschneidenden Rinnsal von Seignolet noch nicht zu zerstören vermocht. Seine Oberfläche ist ziemlich eben; sie ist es durch Denudation geworden; doch mag sich die Rumpffläche nicht viel höher befunden haben.

Der Nordschenkel der St. Braiskette ist bekanntlich (siehe S. 20) sehr stark gestört und überschoben. Nördl. davon, in der Mulde zwischen ihm und der Montmiroirkette, hat sich vom Moulin du Plain an bis unterhalb Clairbief der Doubs seinen Cañon angelegt; die Schlucht ist bis ins Sequan eingesenkt und, da das Rauracien nicht erreicht wurde, nicht so schmal wie das Tal unterhalb Biaufond; im übrigen herrschen aber ähnliche Verhältnisse vor. — Bei Lobschez treten die in der wichtigsten Faltungsphase erzeugten Gewölbe von St. Brais und Montmiroir näher zusammen; die Synklinale dazwischen weist als Kern das Oxfordien auf, welches zwischen der Côte de l'Homenne und Les Ormets als Kombe ausgeräumt ist. Der Fluß hat hier seinen Mäanderbogen im Rogenstein der Montmiroir-Antiklinale eingeschnitten (Fig. 11); kurz darauf erreicht er die im Keuperkern der St. Braiskette entstandene Weitung von Soubey. Südwestl. dieses Dorfes hat sich im Keuper, Lias und Opalinuston eine Ausräumungszone gebildet, die sich gegen den im W durch die aufragende Rogensteinwand abgeschlossenen Kessel von La Fonge hinüberzieht; bei La Fonge ist der Kern der Falte außerdem von einem Nebenbach des Doubs von Lobschez her angezapft worden.

Ca. 3 km unterhalb Soubey, auf der Höhe des auf einer Schichtterrasse des Calloviens der St. Brais-Antiklinale gelegenen Montfavergier, taucht die Mulde zwischen den Ketten des Clos du Doubs und von St. Brais wieder auf. Der Doubs folgt ihr bis in die Gegend von Montmelon; er hat sich in ihr zum Teil bis ins Oxfordien eingetieft und dabei sein Tal ähnlich wie

unterhalb Biaufond ausgebildet; nur ist die Talsohle etwas breiter. — Bei Montmelon beginnt das Flußknie von St. Ursanne, der Durchbruch durch das nach E abtauchende Gewölbe des Clos du Doubs. Am östl. Hange läßt sich der Oxfordstreifen gut verfolgen; er steigt erst auf, biegt dann in horizontale Lage um und senkt sich nach N gegen St. Ursanne. Der Fluß selbst durchschneidet den Hauptrogenstein und gelangt bis in den untern Dogger, den er als Kern der Falte etwas ausgeräumt hat. — Bei St. Ursanne setzt die nach W zurückführende Talrichtung ein. Wir befinden uns hier in der nur schwach ausgeprägten Mulde zwischen der Clos du Doubskette und der früher genannten Clairmont-Antiklinale, einem Nebengewölbe der Mont Terrikette; ihr Rauracien ist im Schloßfelsen von St. Ursanne und gegenüber in dem den Oxfordtonen aufsitzenden isolierten Hügel von La Perrière erhalten und setzt dann ca. 1½ km bis Pré Martin aus; der Flußlauf ist im Oxfordien angelegt. Nach weitern 1½ km taucht die Clairmontfalte nach W ab; auf dieser kurzen Strecke benützt der Doubs ein Isoklinaltal in der Oxfordkombe zwischen Mulden- und Antiklinalkern. Unterhalb, nach dem Verschmelzen der beiden Mulden nördl. und südl. der Clairmontkette, wird er wieder zum reinen Synklinalfluß; in der Gegend von Ocourt hat er sich bis ins Oxfordien eingetieft; sein Tal hat einen ähnlichen Charakter wie oberhalb Montmelon; wie dort (bei Tariche) kommen auch hier die Mäander vor, deren Entstehung ich bereits erläutert habe.

Noch ein Wort über das in der Nähe von St. Ursanne von E mündende Nebentälchen der Combe de Malrang. Im großen und ganzen ist es in die Verlängerung der Mulde von St. Ursanne eingeschnitten, welche sich zwischen die sich einander nähernden Ketten der Caquerelle und des Mont Terri legt; sein Hauptast richtet sich direkt gegen die Sattelzone von Les Malettes. Ein südl. Zweig hat sich indessen in den auf die Synklinale überschobenen Kern des Caquerellegewölbes eingetieft; wir haben seinen obersten Abschnitt in der Oxfordzone der Combe Chavat bereits kennen gelernt. Das Gefälle ist in beiden Tälchen den Eintiefungsfolgen des Doubstales angepaßt. Wir treffen flachere Stellen in ca. 540—550 m Höhe und wieder in ca. 590—600 m Höhe (im Rauracien und Sequan); dazwischen befinden sich in den gleichen Gesteinen schwache Stufen.

Wenn wir die gewaltige Einsenkung des Doubstales zum Schluß als Ganzes betrachten, so begreifen wir ohne weiteres, daß, je mehr sich der Fluß in den mächtigen Kalkmassen einschnitt, desto tiefer auch der Grundwasserspiegel im Kalk, d. h. der Karstwasserspiegel zu liegen kam. Es ist ganz klar, daß auf diese Weise die ursprünglich bewässerte Hochfläche wasserlos werden mußte; jedes Gewässer floß in den Kalkklüften ab. Die Verkarstung der Freiberge, die wir nun zu untersuchen haben, ist eine Folge der Tieferlegung der Erosionsbasis, vor allem derjenigen des Doubs, aber auch derjenigen der Birs und der Suze.

B. Die Verkarstung der Freiberge und die Karstausräumungen.

Das Karstphänomen wurde als physio-geographisches Problem schon von den verschiedensten Erforschern der Morphologie untersucht; u. a. wurde z. B. ein eigener Karstzyklus im Sinne der Davis'schen Zyklentheorie aufgestellt (Lit. 25). Speziell den Karst des Jura behandelt ein Kapitel der Arbeit von Machatschek (Lit. 65); vor allem aber möchte ich G. Chabot (Lit. 23) nennen, dessen detaillierte Ausführungen namentlich für den Jura der Franche Comté gelten, indessen auch auf die Freiberge sozusagen ohne weiteres übertragen werden können. Der einzige Unterschied liegt in der größern Intensität der Faltung des schweizerischen „Plateaujura" und in dem damit verbundenen vermehrten Auftreten von harten, durchlässigen, und weichen, undurchlässigen Gesteinsschichten nebeneinander. Was die allgemeinen Grundlagen der Entstehung des jurassischen Karstes und seiner Formen betrifft, so sind sie durch Chabot so eingehend behandelt worden, daß sich hier eine ebenso ausführliche Beschreibung derselben Dinge erübrigt. Ich möchte im folgenden einzig die Hauptpunkte herausgreifen und besonders auf die Abweichungen hinweisen, welche sich aus der genannten Verschiedenheit der Faltungsintensität in Franche Comté und Freibergen ergeben.

Chabot weist zunächst die Ansicht Machatscheks zurück, daß während der Bildung der Rumpffläche auf den durchlässigen Schichten kein Wasser floß, sondern daß dieses im

Kalk versiegte. Die Erosionsbasis lag doch auch nach der Bildung der Fastebene nicht viel tiefer als deren Oberfläche und die oberirdische Entwässerung blieb erhalten, solange die Peneplain nicht disloziert wurde. In der Franche Comté besteht die Möglichkeit, dies damit zu beweisen, daß die Karstformen auf den jüngern Piedmontflächen von Nozeroy und Champagnole ebenso stark entwickelt sind wie auf den eingeebneten Plateaux von Ornans etc. selbst; in den Freibergen dagegen fällt sie dahin, da dort die Flächen gleichzeitig entstanden sind.

Die Karsterosion war wahrscheinlich namentlich in feuchten Klimaperioden intensiv. Durch besondern Wasserreichtum zeichnete sich das Diluvium aus; damals wurden wohl, zum Teil durch mechanische Erosion, die Klüfte und Höhlen im Kalk stark erweitert, so daß die Bäche um so rascher versickerten. Als Widerstand wirkten dabei allerdings stets die Lösungsrückstände des unreinen Kalkes, welche Verstopfungen der Spalten herbeiführten; auch konnte sich an der Oberfläche eine ziemlich dicke Decke von Verwitterungslehm ausbilden. — Man darf den jurassischen Karst den klassischen Karstgebieten an der Adria ja nicht gleichstellen; die Unterschiede sind sehr groß: der Kalk des Jura ist weniger rein und vor allem viel weniger mächtig als derjenige von Istrien und Dalmatien; wasser-undurchlässige Mergel und Tone schieben sich ein. Die Schichten sind ferner gefaltet, und endlich ist das Klima vollkommen anders als an der Adria. Im Jura hat die subaërische fluviatile Erosion nie aufgehört eine Rolle zu spielen. Chabot definiert den jurassischen Karst als einen Typus von „Halbkarst"; seine Entwicklung ist nur ihm eigen; sie ist verschieden sowohl von der Entwicklung der vollkommenen Karstlandschaft, als von der der normalen Erosionslandschaft. Oberflächliche Entwässerung und Einsickern kommen nebeneinander vor und haben einen zweifachen Charakter der Erosion zur Folge.

Nach der Davis'schen Zyklenlehre wurde, wie schon gesagt, versucht, einen Zyklus des Abtrags des Karstes aufzustellen. Man unterschied junge, reife und alte Karstformen; nach einer Version (Lit. 34) entsprach dabei der Jura einem ausgesprochenen Jugendstadium, die Karstlandschaft der Causses in Südfrankreich einem etwas ältern und der adriatische Karst einem ausgereiften Stadium. Chabot glaubt nun, daß man den jurassi-

schen Karst nicht ohne weiteres einem derartigen einheitlichen Karstzyklus, der hauptsächlich auf die Verhältnisse des adriatischen Karstes abstelle, einordnen dürfe. Wohl müsse man ihn in irgendeiner Weise mit dem dinarischen Karst vergleichen und ihm innerhalb der verschiedenen vorhandenen Karstarten seinen Platz zuweisen; doch müsse man dabei die besondern regionalen Verhältnisse des Jura berücksichtigen und die Entwicklung des jurassischen Karstes für sich verfolgen. Chabot stellt für die Franche Comté einen eigenen jurassischen Zyklus auf, der ohne weiteres auch auf die Freiberge zu übertragen ist. Danach tritt, wenn die Erosionsbasis sich senkt, die Karsterosion in Konkurrenz mit der oberflächlichen, subaërischen Erosion. Die oberirdischen Gewässer verschwinden langsam; die Karstformen werden wichtiger. Dagegen nimmt die Erosion des unterirdisch fließenden Wassers zu; bei starken Regengüssen oder bei Schneeschmelze tritt die oberirdische Entwässerung vorübergehend in den Trockentälern wieder in Erscheinung. Die Karsterosion kann im Gegensatz zu den dinarischen Landschaften kein allzu großes Ausmaß annehmen, weil die Kalke viel zu wenig mächtig sind und immer wieder undurchlässige Schichten dazwischen treten; sie geht aber viel langsamer vor sich als die zum Teil immer noch wirkende, allerdings oberflächlich kaum sichtbare subaërische Erosion der Gewässer. Diese letzte wird auf die Dauer, so schließt Chabot, den Sieg über die Karsterosion davontragen.

Betrachten wir nun die Erscheinungen des Karstes, die Karren, Dolinen, Poljen und zum Schlusse die unterirdischen Entwässerungswege.

1. Karren.

Die Karrenbildungen treten im Landschaftsbild der Freiberge sehr zurück. Im Gegensatz zu den typischen Karstgebieten an der adriatischen Küste und zu den Alpen, vor allem zu den Plateaustöcken der Ostalpen, wo sie außerordentlich charakteristisch ausgebildet sind, sind sie im Jura stets mit etwas Lehm und namentlich mit Humus bedeckt und mit Vegetation überzogen. Trotzdem sind sie ziemlich verbreitet; wir können sie auf allen größern Malmkalk-, besonders Rauracien- und Kimeridge-

flächen, und auch im Rogenstein finden, meistens allerdings nicht frei aufgeschlossen. Ich nenne hier nur Vorkommen im Kimeridge zwischen Les Bois und Les Rochats und beim Hofe Chaux d'Abel, im Kimeridge zwischen Les Breuleux und dem Hofe La Theurillatte, im Rauracien wenig südl. von Pré St. Nicolas bei Saignelégier, im Kimeridge bei Les Joux derrières usw.; von Bl. Montfaucon gibt A. Glauser (Lit. 42) einige Beispiele.

In ihrem heutigen Zustand sind die Karren der Freiberge durchaus gleich beschaffen wie die der Franche Comté; wir können deshalb bei der Erklärung ihrer Entstehung wieder auf Chabot hinweisen. Die Vorbedingungen der Bildung der Karren müssen ähnliche gewesen sein, wie sie in den Alpen noch heute bestehen; sie waren im Jura nur in der Glacialzeit gegeben, und im Diluvium müssen wir uns auch die Karren entstanden denken. Die Freiberge waren, wie wir noch sehen werden, nur im südl. Teil und nur kurze Zeit von Gletschern bedeckt; lange Zeit hindurch waren sie indessen in ihrem ganzen Bereich so gut wie vegetationslos; der Verwitterungslehm war noch sehr gering, die periodische Schneedecke dagegen mächtig; so konnte sich die Korrosion, die chemische Lösung des Gesteins, voll auswirken.

2. Dolinen.

Die Dolinen gehören zu den charakteristischsten Elementen der Karstlandschaften. Wir treffen sie im ganzen Gebiet der Freiberge in jeder Höhenlage an, meist unten an den Abhängen, seltener auf den Scheiteln der Antiklinalen und gar nie, wie auch Chabot für sein Gebiet betont, an den Abhängen selbst. Im Gegensatz zur Franche Comté, wo die Schichten über weite Strecken fast horizontal gelagert sind, zeigt sich aber eine gewisse Abhängigkeit von den Gesteinen: in langen Reihen folgen sich die Dolinen, wie ich schon einmal gesagt habe (siehe S. 69), jeweils an den Grenzlinien der weichen gegen die harten Horizonte, z. B. an denen der Oxfordtone gegen das Rauracien, des Rauraciens gegen die Untersequanmergel, des Callovientons gegen die Dalle nacrée, der Variansschichten gegen den Hauptrogenstein etc. Als Beispiele möchte ich die folgenden erwäh-

nen: Dolinen an beiden Rändern der Oxfordkombe von Moulin Dos le Cras, gegen den Malmkalk wie gegen den Dogger; bei Les Rouges Terres; nordöstl. Les Royes, stets an der Grenze des Oxfordtons; nördl. Les Reussilles (Grenze Argovien-Sequan); nördl. Prédame (Grenze Argovien-Sequan); im Doggeraufbruch von Les Saignes du Roselet; westl. La Bosse (Grenze Oxfordien-Rauracien); bei P. 983 an der Straße zwischen Montfaucon und Bémont (Grenze Rauracien-Sequan); südwestl. Les Enfers (Grenze Oxfordien-Rauracien); aus Doline hervorgegangene Karstausräumung bei Bartelard (Grenze Argovien-Sequan); Dolinen nördl. Les Emibois (Grenze Oxfordien-Rauracien/Argovien); bei La Pautelle südl. Sous le Terreau (Grenze Oxfordien-Birmenstorferkalk); bei der Station Le Boéchet (Grenze Oxfordien-Birmenstorferkalk) usw. usw.

Orographisch sind die Dolinen meist am Fuße von Abhängen gelegen, wie auch Chabot betont; an den Abhängen selbst kommen sie gar nicht, höchstens auf kleinen Abstufungen vor. Sie verdanken ihre Anlage unzweifelhaft dem abfließenden Wasser. Chabot nimmt dies gleichfalls an; in unserm Gebiet wird es noch viel besser bezeugt durch die Anordnung der Dolinen an der Grenze von durchlässigen und undurchlässigen Gesteinen. Hier mußte sowohl das von den aus Kalk gebildeten Steilhängen herunterstürzende Regenwasser, sobald es auf flacheres Gelände kam, als auch das auf der Oberfläche der undurchlässigen Tone und Mergel angesammelte Wasser im Kalk versickern. Hier entstanden darum langsam, unter wesentlicher Mithilfe der Korrosion, der chemischen Lösung, Eintiefungen. Auch heute noch verschwindet in den Dolinen, wenn auch ihr Boden flach und mit Lösungsrückständen des Kalkes bedeckt ist, Wasser durch feinste Spalten; sehr oft besitzen sie einen sternförmig gezackten Rand; die kleinen Rinnen sind nur durch das Wasser ausgespült worden. — Aus den Dolinen können sich auch eigentliche Schlundlöcher entwickeln, in welchen dann das Wasser sichtbar verschwindet; stets ist aber in diesem Falle eine größere Menge von Wasser vorhanden, die den Kalk etwas zerfressen hat. Derartige „Emposieux“ oder Ponore liegen ebenfalls an der Grenze von durchlässigen und undurchlässigen Gesteinen, von Kalken und Mergeln oder Tonen; sie sind kaum durch Einsturz der durch chemische Ero-

sion unterhöhlten Kalke entstanden, sondern allein von der Oberfläche her, wobei aber ihre Entwicklung sich hauptsächlich in vertikalem Sinne und nicht wie bei den eigentlichen Dolinen auch seitlich fortsetzte. Ich nenne hier die Schlundlöcher von La Gruyère, von Les Royes, von Plain de Seigne und Les Enfers (bei Plain de Seigne Malmkalk/Tertiär, sonst Oxfordien/Malmkalk). An diesen Stellen hat der Mensch das im Ponor vorhandene Gefälle des oberhalb künstlich aufgestauten Wassers, welches z. B. bei Gruyère 17 m beträgt, ausgenützt und Sägemühlen errichtet, von denen die von La Gruyère und Les Royes heute noch im Betriebe stehen.

3. Poljen.

Die Poljen sind im allgemeinen, so auch in unserm Gebiete, an Synklinalen gebunden. Auf den undurchlässigen Schichten des Tertiärs bildeten sich Wasserläufe aus, welche auf Ponore hinzielten. Durch Schlundlöcher verschwindet jetzt alles Wasser der Poljen in den Klüften des Kalkes; sie stellen die lokale Erosionsbasis dar, allerdings nur beschränkt. Chabot scheint es gut, die lokale Erosion der Poljen immer mit der Gesamtentwicklung der Gegend in Beziehung zu setzen, welcher sie mit einer gewissen Verspätung, entsprechend der unterirdischen Erosion, stets nachfolgt. Der Karstwasserspiegel spielt teilweise im Jura insofern eine Rolle, als periodisch oder dauernd einzelne Poljen unter Wasser stehen; infolge der tiefen Einschnitte der umliegenden Bäche und Flüsse, vor allem des Doubs, welche seine Tieferlegung verursacht haben, ist dies jedoch in den Freibergen nirgends der Fall. In unserm Gebiet sind außer im Becken von Bellelay in den Poljen auch die oberirdisch fließenden Gewässer verschwunden; bei Bellelay ist die Rouge Eau vorhanden, welche nördl. Le Fuct in einem Ponor versickert, nachdem sie kurz vorher, wie ich bereits erwähnte, im weichen Torfboden einige kleine Mäander eingeschnitten hat. — In den Freibergen kennen wir im ganzen 4 Poljen, diejenigen von Chantereine-Les Barrières, von La Chaux d'Abel und von La Chaux sur Breuleux sowie das Becken von Bellelay. In allen 4 haben sich, namentlich während des Diluviums, Moore gebildet; der Untergrund besteht überall aus Tertiär.

Die Poljen können zu existieren aufhören, wenn sie durch rückschreitende Erosion von außen her an das oberflächliche Gewässernetz angeschlossen werden; allerdings fließt auch dann noch Wasser, wenn auch beträchtlich weniger, unterirdisch durch die Ponore ab. Derartige „aufgeschlossene" Poljen sind z. B. das Val de Ruz im Neuenburgerjura und der Tessenberg zwischen Chasseral und Seekette (nördl. des Bielersees). In den Freibergen gehörte vielleicht einstmals das oberste Tabeillontal dazu; es ist indessen seit der Entstehung des tiefsten Einschnitts des Tabeillon, d. h. seit dem Mitteldiluvium nicht mehr oberflächlich entwässert; das Wasser nimmt seinen Ablauf wieder gänzlich unterirdisch durch ein Schlundloch bei Plain de Seigne.

4. Unterirdische Entwässerungswege.

Das auf der Hochfläche der Freiberge versickerte Wasser tritt in den tiefen umliegenden Tälern in Quellen wieder zutage. Auf der Höhe finden sich nur wenige Quellen, welche stets mit dem Auftreten undurchlässiger Schichten, z. B. der Oxfordtone, verknüpft sind. So liegt z. B. die starke Quelle östl. Les Pommerats, welche die Ortschaften Saignelégier und Montfaucon mit Wasser versorgt, auf dem als Quellhorizont wirkenden Oxfordien, das dort unter dem Malmkalk hervortritt. Ganz in der Nähe sind 2 durch den gleichen Umstand begründete Quellen (es handelt sich um Schichtquellen) für das Dorf Les Pommerats gefaßt worden. Aus demselben Grunde, d. h. weil das Wasser in die Tone nicht eindringen kann, sind die Oxfordkomben meist feucht, teilweise sogar vertorft; am Rande gegen den Kalk treten Dolinen oder Ponore auf. — Mit der Wasserversorgung ist es in den Freibergen nicht sehr gut bestellt; nur größere Ortschaften wie Saignelégier oder Le Noirmont besitzen ein Reservoir; aber auch hier sind noch, was bei den kleinen Weilern, wie z. B. Les Enfers und bei den abgelegenen Gehöften die Regel ist, Zisternen im Gebrauch, in denen das hineingeleitete Regenwasser allerdings oft der Verunreinigung ausgesetzt ist.[1])

[1]) Seit Herbst 1938 besteht eine moderne Wasserversorgungsanlage für das Gebiet der Freiberge, indem das Grundwasser des Val de St. Imier auf die Hochfläche gepumpt und dort verteilt wird.

In den Tälern des Doubs und der Sorne, der Trame und der Suze etc. ist dafür Ueberfluß an fließendem Wasser vorhanden. Sehr zahlreiche Quellen treten aus; der Doubs z. B. erhält viel mehr Wasserzufluß von den Quellen als von längern Seitenbächen. Stets sind es gewöhnliche Schichtquellen auf einer undurchlässigen Schicht als Quellhorizont, vor allem wieder dem Oxfordton, aber auch, z. B. in der Gegend von Soubey oder Montmelon, dem Opalinuston. An einzelnen Stellen, besonders da, wo an 2 sich ablösenden Antiklinalen ein axiales Abtauchen stattfindet, sind Stromquellen (Vaucluse-quellen) entstanden. Ich nenne hier diejenigen der Birs bei Tavannes und der Foule in dem kleinen Pérousegewölbe bei Moutier; eine andere ist die der Doue zwischen Cormoret und Villeret im Val de St. Imier.

Es ist nun von hohem Interesse, die Beziehungen zwischen diesen Quellen in den Tälern und den Versickerungsstellen auf den Höhen zu ergründen. Es war mir möglich, zu diesem Zwecke eine Reihe von Färbungsversuchen mit Fluorescëin durchzuführen; die Ergebnisse waren dabei folgende (Tafel 2b):

Ich färbte zunächst den durch ein großes Schlundloch ablaufenden Abfluß des künstlich aufgestauten Weihers von Les Enfers. Schon lange nahm man an, daß er ca. 2 km entfernt, 350 m tiefer in der starken, im Rauracien entspringenden Quelle bei Le Moulin südöstl. Soubey wieder zum Vorschein komme. A. Glauser (Lit. 42, S. 115) gibt an, daß nach der Aussage eines Einwohners von Montfaucon feines Sägemehl, das von dem bei der ehemaligen Sägemühle von Les Enfers versickernden Bach mitgeschwemmt wurde, bei Le Moulin wieder zutage trat. Durch die Färbung wurde nun diese Ansicht bestätigt; allerdings dauerte der Durchfluß ziemlich lange, ca. $1^1/_2$ Tage, da der Wasserstand bei Les Enfers sehr niedrig war; bei Hochwasser ist wohl die Zeit entsprechend kürzer. Auch konnte man den Farbstoff an der Quelle unten nur mit dem Fluoroskop nachweisen; der Bach von Le Moulin bezieht sein Wasser nicht allein von Les Enfers, sondern von einem weiten Umkreis, der vermutlich nach E weit über Les Sairins hinausreicht.

Ein weiterer Färbversuch wurde an dem Ablauf des Weihers von Plain de Seigne vorgenommen; bei dem

dortigen Versickerungstrichter existierte einst ebenfalls eine Mühle. Man ist zunächst geneigt, den unterirdischen Abfluß des Ponors gegen die Combe Tabeillon anzunehmen; die Färbung ergab jedoch, daß das Wasser in einer Entfernung von etwa 10 km und ca. 300 m tiefer in einer im Rauracien-Südschenkel der Klus von Undervelier, wenig westl. oberhalb der Häuser von Forges d'Undervelier gelegenen, ziemlich starken Quelle wieder erscheint. Es liegt also die interessante Tatsache vor, daß die unterirdische Entwässerung sich wieder nach den durch die Hauptfaltungsphase gegebenen Verhältnissen richtet und nicht wie der an der Oberfläche fließende Tabeillon, dem übrigens das Wasser von dem der Mulde von Plain de Seigne parallelen Tälchen von Au Senneut zufließt, nach der nur wenig ausgeprägten letzten Faltung.

Südl. Bellelay verschwindet die Rouge Eau, das Gewässer des Poljes von Bellelay, in einem Versickerungstrichter. Sie erscheint nun weder im Tal von Tavannes-Court noch im Petit Val, sondern fließt unterirdisch parallel dem Streichen der Antiklinale des Moron in deren Malmkalk und tritt da, wo das Gewölbe nach E abtaucht (Pérouse) wieder zutage: in der zur Trinkwasserversorgung von Moutier gefaßten Stromquelle der Foule südwestl. dieser Ortschaft. Die Distanz des unterirdischen Laufes beträgt ca. 13 km, die Höhendifferenz ca. 370 m, die Dauer des Durchflusses 2—3 Tage. Die Foulequelle bezieht ihre Wassermengen allerdings aus dem ganzen Morongebiet; der Anteil der Rouge Eau ist verhältnismäßig nicht groß; das Vorhandensein des Farbstoffs konnte nur mit Hilfe des Fluoroskopes festgestellt werden.

Endlich unternahm ich eine Färbung des Ablaufes des Weihers von La Gruyère. Das Wasser kam schon nach 15—16 Stunden in einer Entfernung von etwa 4 km, ca. 100 m tiefer, in einer mitten in der Ortschaft Tramelan-dessous unmittelbar an der Bahnlinie austretenden Quelle wieder zum Vorschein. Die nur schwache Quelle (2—3 l/Min.) ist gefaßt und speist einen in der Nähe stehenden Brunnen. Bemerkenswert ist hier, daß der Zufluß bei La Gruyère im Gegensatz zu den 3 andern untersuchten unterirdischen Entwässerungen bedeutend stärker ist als der Abfluß bei Tramelan; die auch ohne Fluoroskop gut sichtbare Färbung der Quelle hielt denn

auch 6—7 Tage lang an. Die Quelle von Tramelan-dessous fördert wohl nicht nur den Ablauf von La Gruyère an die Oberfläche, sondern auch das — allerdings nur wenig beträchtliche — in der Gegend von Le Cernil versickerte Wasser. Da das Argovien, das unter der Lehmbedeckung von Les Gérinnes ansteht, wie das darunter liegende Oxfordien undurchlässig ist, ist anzunehmen, das Wasser folge dem Verlaufe der Querstörung, welche E. Forkert (Lit. 39) nördl. Tramelan in der Les Placeskette nachgewiesen hat.

C. Die Veränderungen seit der Rißeiszeit.

Es bleibt nun noch zu untersuchen, in welchem Maße sich die Landschaft seit der Zeit vor der Rißvergletscherung verändert hat. Es scheint mir dabei gut, wieder die Hochfläche und die Täler auseinander zu halten.

1. Die Einwirkungen des jüngern Diluviums auf die Hochfläche der Freiberge.

Zur Rißeiszeit stießen die alpinen Gletscher weit in den Jura vor, wie die verschiedenen Funde von erratischen Blöcken beweisen (Tafel 2b). In der Gegend der Freiberge reichten sie bis an den Südabhang des Moron und der Les Placeskette und drangen dazwischen über die Lücke nördl. Le Fuet ins Becken von Bellelay. Nach W war das ganze Gebiet etwa südl. der Linie Tramelan-La Chaux sur Breuleux-Le Noirmont-Maîche vom alpinen Eise bedeckt, doch nur bis zu einer Höhe von ca. 1100 m; die als Nunataker darüber emporragenden Rücken wie der Sonnenberg, die Höhe von Le Peuchapatte etc. trugen vermutlich eine lokale Firnkappe. Das Landschaftsbild wurde allerdings durch diese glaciale Ueberflutung kaum verändert. Da infolge der Stauung am Jurarand nur die oberen Eismassen nach N vorrückten, finden wir auf dem Hochplateau der Freiberge nirgends eigentliche Grundmoräne; diese ist nur in geringem Maße in den südl. Tälern, z. B. noch bei Tavannes (Orange) vorhanden.

In der letzten Eiszeit, der Würmeiszeit, drang ein Nebenast des nun viel weniger mächtigen Rhonegletschers ins

Val de St. Imier ein; er erfüllte den Talboden und zwang die Schmelzwasser zeitweise zum Abfluß durch die Klus der Pierre Pertuis zur Birs. Die Schneegrenze lag damals nach Machatschek in 1100—1200 m Höhe; somit waren die Höhen des Sonnenberges, der Prés de la Montagne nördl. Tramelan, von Le Peuchapatte, des Moron etc. in ihren obersten Teilen lokal verfirnt. Diese Eisflächen sandten in die Täler Lokalgletscher hinunter; vor allem sind die des Südhanges des Sonnenberges (Champs Meusel bei St. Imier und 4—5 kleinere zwischen St. Imier und oberhalb Renan) zu nennen, die durch H. Suter (Lit. 94) eine eingehende Schilderung erfahren haben. Suter erwähnt auch kleine Lokalgletscherablagerungen vom Sonnenberg östl. Cerneux Veusils und von der Höhe von Le Peuchapatte im Bahneinschnitt nordöstl. Le Creux des Biches, die jedoch im Landschaftsbild nicht die geringste Rolle spielen. Im übrigen waren die Freiberge eisfrei, aber zeitweise ziemlich vegetationslos. Die Verkarstung, besonders die Karrenbildung, konnte sich unter diesen Umständen gut entwickeln; ferner bildete sich eine Decke von Verwitterungslehm aus. Auf den undurchlässigen Schichten der Oxfordtone und des Tertiärs entstanden Moore, welche heute mit ihrem nordischen Pflanzenwuchs wie z. B. Betula nana für die Gegend charakteristisch sind. Auf der beigelegten Karte (Tafel 2b) sind sie eingezeichnet; sie sind durch J. Früh und C. Schröter (Lit. 38), durch L. Nicolet (Lit. 67; Moor von La Chaux d'Abel) und in den geologischen Detailuntersuchungen genau beschrieben worden.

2. Die Einwirkungen des jüngern Diluviums in den an die Freiberge grenzenden Tälern.

Von den an die Freiberge grenzenden Tälern waren nur das Val de St. Imier, das Trame- und das obere Birstal vergletschert; das ganze Sorne- und das untere Doubsgebiet waren eisfrei. Ich möchte hier zunächst auf die verschiedenen Gehängeschuttbildungen, Sackungen und Bergstürze, z. B. die große Rutschung von Chercenay unterhalb Soubey im Doubstal hinweisen, welche in den geologischen Einzelbeschreibungen im Detail geschildert sind.

Vor der Rißeiszeit war in allen Tälern ein tiefster, meist unter die heutige Talsohle reichender Einschnitt vorhanden, der dann mit fluvioglacialen Schottern angefüllt wurde. Diese tiefste Rinne, von Buxtorf, wie ich schon gesagt habe, für das Doubstal als „hypothetischer Verlauf der Felsoberfläche in der Sohle des Doubstales vor seiner Verschüttung" bezeichnet, zieht sich nicht überall an der Stelle des heutigen Laufes hin; am Doubs findet sie sich z. B. beim Refrain oder bei La Goule oder in der Gegend von Soubey nördl. davon; das heutige Flußbett ist an diesen Punkten epigenetisch angelegt. Es kommen verschiedene Reste von alten Doubsschottern vor, z. B. bei Biaufond, Goumois, Soubey und Montmelon; sie liegen ca. 20—30 m über der jetzigen Talsohle und bilden jeweils eine typische Aufschüttungsterrasse; sie waren es im wesentlichen, die die Rinne ausfüllten. Später schnitt sich dann der Fluß wieder ein, wurde aber durch abgerutschte Gesteinsmassen an einzelnen Stellen gestaut und schuf sich junge, alluviale Aufschüttungsböden (z. B. von Biaufond bis gegen den Refrainriegel; oberhalb La Goule; von Goumois bis Soubey; unterhalb Tariche). Im einzelnen möchte ich auf A. Buxtorf verweisen, der die Stufen des Refrain, von La Goule etc. genau beschreibt (Lit. 16).

Auch im Sorne- und Birsgebiet wurde die tiefste Rinne mit Schottern ausgefüllt. Rothpletz (Lit. 82) und Schlaich (Lit. 86) erwähnen Hochterrassenschotter aus dem Tal von Tavannes, Liniger (Lit. 62) solche aus dem Delsbergerbecken. Auch hier fließen die Gewässer überall in ihren eigenen Aufschüttungen; bei der Sorne z. B. ziehen sich nur noch in der Pichouxklus Felsschwellen von einer Seite zur andern, während in der Klus von Undervelier ein ziemlich flacher, aufgeschotterter Talboden besteht.

Das jüngere Diluvium machte sich also in den Tälern hauptsächlich durch Aufschüttung von fluvioglacialen Schottern geltend, in welchen sich nachträglich die Gewässer wieder einschnitten und ihre heutigen Talsohlen schufen.

Schlußbetrachtung.

Wenn wir das Gesagte zum Schlusse überblicken, so fällt uns vor allen Dingen auf, daß die Peneplain der Freiberge von andern Rumpfflächen in manchen Zügen verschieden ist. Vor allem ist sie leicht aufgefaltet (gewellt) worden und durch Hebung und damit verbundene Tieferlegung der Erosionsbasis hat sich, da das Wasser im Kalk versickerte, eine Karstlandschaft entwickeln können. Zwar kommt das Karstphänomen auch auf der ebenfalls aufgebogenen Fastebene der westl. benachbarten Franche Comté vor; doch zeigen sich auch zwischen ihr und der Peneplain der Freiberge Unterschiede. In der Franche Comté sind lange nicht so viele Faltenzüge vorhanden wie im Bernerjura; die Gesteinsschichten liegen oft auf eine ziemliche Erstreckung flach und es sind weite Plateauflächen ausgebildet. In den Freibergen dagegen ist das Gelände viel gewellter, wenn auch im allgemeinen keine großen Höhenunterschiede bestehen. Anderseits sind die parallel den Ketten des Schweizer Hochjura verlaufenden Gewölbe der Franche Comté zum Teil überschoben (z. B. bei Mouthier), was bei den jungen Faltenzügen, die man in den Freibergen aus dem verschiedenen Einfallen der Rumpffläche rekonstruieren kann, nicht der Fall ist. Wir können demnach auf mehrere Faltungsphasen des Gebirges schließen, wobei im Großen die Faltung zuerst im NW, im französischen Jura, einsetzte; die östlichen bis südöstlichen Gebiete wurden erst nachher disloziert.

Die Gegend der Freiberge und der ringsum anschließenden Gebiete hat ungefähr folgende Geschichte: Im Helvétien bestand die große einheitliche sog. Vindobonische Fläche, welche sich von den Vogesen und vom Schwarzwald her leicht gegen SE senkte. Nach orogenetischen Bewegungen — Auffaltung der N-S-streichenden Ketten in der Franche Comté, Wellung der Querfalten des Delsbergerbeckens — entwickelte sich die sarmatisch-pontische Rumpfebene, die gleichfalls ein Gefälle von den Vogesen nach dem Schweizer Mittelland aufwies; die Tie-

fenrinne am Nordrand der Alpen, welche sich gegen die Donau richtete, befand sich aber etwas nördlicher als das jetzige Aaretal Bielersee—Aarau, im Gebiet des heutigen Kettenjura. Von den Vogesen her schütteten Flüsse Schuttfächer in sie auf, deren Gerölle in den nachher entstandenen Mulden (Bois de Raube, Charmoille) nur wenig abgetragen, auf den Höhen aber großenteils zerstört wurden. Im untern Pliocaen, postpontisch, kam es darauf im Schweizer Jura zur Hauptfaltung; an schon vorhandenen Störungslinien bildeten sich dabei Transversalverschiebungen, Schleppungen, Gewölbeablösungen etc. aus. Von größter Bedeutung war der Umstand, daß die tertiären Schichten nicht überall gleich mächtig waren; im Gebiet der ehemaligen Raurachischen Senke und im südl. Jura waren sie sehr stark entwickelt, in der Gegend der Freiberge indessen nur sehr wenig. Dies hatte zur Folge, daß bei der Faltung sich die Antiklinalen in den Freibergen enger zusammenscharten und die Mulden viel weniger tief eingriffen. Der Gegensatz zwischen den Freibergen und dem „Rheintaler" und südlichen Jura mit seinen tiefen Muldentälern entstand damals.

Die Abdachung richtete sich nun nicht mehr nach S gegen das Mittelland, sondern nach N; durch die neu gebildete Burgundische Pforte flossen die Gewässer der Vogesen wie die des Jura zur Rhone ab. Der obere Doubs, der sich früher nach E zur Donau gewandt hatte, machte zunächst noch kurze Zeit mit der Birs zusammen den Umweg über Basel, wurde aber bald durch einen von W her einschneidenden Bach bei St. Ursanne angezapft und beschrieb fortan sein eigenartiges Knie. Durch die Flüsse und Bäche wurde der Schweizer Kettenjura im Mittelpliocaen eingeebnet; die Gewölbe wurden gekappt; die Einebnung begann wohl schon während der Faltung. Wir haben gesehen, daß diese mittelpliocaene Peneplain jünger ist als die Rumpffläche der Franche Comté und der Ajoie; sie legt sich im Delsbergerbecken über die pontischen Schotter hinweg, welche bei Charmoille in der Ajoie der dortigen Fastebene aufliegen; ferner setzen sich die jüngern Ketten der Franche Comté, die nach der dortigen Einebnung entstanden sind, direkt in den unterpliocaenen Hauptketten des Berner und Neuenburger Jura fort. — Daß die Peneplain der Freiberge eine fluviatile Erosionsoberfläche ist, haben wir ebenfalls nach-

weisen können. Es handelt sich niemals um Verebnungen durch Karstdenudation, wie einige Forscher wie Hettner oder Jaranoff glauben; die Oxford- und Doggeraufbrüche sind alle von außen her durch Bäche angezapft und ausgeräumt worden.

Ins Oberpliocaen ist eine letzte, allerdings nur noch schwach ausgeprägte Faltungsphase zu setzen. Wir müssen sie nicht nur deswegen annehmen, weil wir die Rumpffläche an manchen Stellen nach einer Seite einfallen sehen, sondern namentlich aus dem Grunde, weil die Gesamtmächtigkeit des zum Teil nach oben zu ergänzenden Tertiärs in den tiefen Talmulden nicht so groß ist, daß die Täler damit bis ins Niveau der eingeebneten Freiberge hinauf haben angefüllt sein können. — Interessant ist die Tatsache, daß diese letzte Faltung von der Hauptfaltung etwas abwich. An der Stelle mehrerer kleiner, unter Umständen sich ablösender Antiklinalen, konnte sich wie z. B. bei Le Roselet nur ein einziges Gewölbe bilden. Namentlich ist aber die Umgebung von Saulcy und St. Brais zu erwähnen, wo sich die Störungslinie der Caquerellekette bemerkbar machte; die Montbovatskette setzte sich nun nicht mehr in der Raimeux-, sondern in der Velleratkette fort; nordwestl. von ihr entstand in der ins Delsbergerbecken mündenden Mulde, welche die ursprüngliche Velleratkette bei Saulcy kreuzte, als konsequenter Abfluß der Tabeillon. Das Tabeillontal ist also nicht, wie das Quertal der Sorne oder der Doubslauf antecedent der letzten Faltung; die scheinbare Antecedenz entstand erst nach dem durch eine Hebung verursachten Einschneiden, wodurch die Strukturformen der Hauptfaltung wieder aufgedeckt wurden.

Die genannten Mächtigkeitsunterschiede im Tertiär zwischen den Freibergen und den Gegenden östl. und südl. davon bewirkten in der letzten Faltungsphase auf der Hochfläche eine nur sehr geringfügige, sonst eine etwas stärkere Wellung. Die Mulden neigten sich nach E und damit war auch dem Wasser der Abfluß gegeben. In der Folge kam es durch Hebung zu 2 Erosionszyklen, einem am Ende des Pliocaens, einem im Diluvium noch vor der Rißeiszeit, deren erster sich heute noch in den obersten Talabschnitten, weiter unten in Terrassen und Eckfluren erkennen läßt. Der ebene Talboden der Klus der Pierre Pertuis paßt genau in den ältern Birstalzug, der sich

demnach ursprünglich wohl nach aufwärts im Val de St. Imier fortsetzte; doch muß die Anzapfung bei Sonceboz durch die Suze schon frühzeitig erfolgt sein, da sich im ganzen Val de St. Imier vor dem jüngsten Einschnitt ein weiteres Talniveau ausbilden konnte. — Unabhängig von diesen zum Rhein gerichteten Tälern zeigt der Doubscañon im ganzen 4 Erosionszyklen. — Die Hochfläche war unterdessen wasserlos geworden. Nach der letzten Faltung war sie wohl noch eine Zeitlang bewässert, wie uns die fluviatil ausgeräumten Doggeraufbrüche, Komben und Durchbruchstälchen, die heute trocken liegen, zeigen; bald versickerten jedoch die Bäche im Kalk; die Karstlandschaft mit ihren Dolinen und Poljen bildete sich aus; in den Westfreibergen wie bei Bellelay wurde die Rumpffläche durch Karsterosion lokal zerstört.

Im Spätdiluvium veränderte sich das Landschaftsbild nur vorübergehend durch die Gletscher, welche zur Rißeiszeit bis in die südl. Freiberge vordrangen, während zur Würmeiszeit nur die höchsten Rücken, z. B. der Sonnenberg, geringfügige lokale Eiskappen trugen. Damals wurde das Karstphänomen verstärkt; es bildeten sich Karren. Außerdem entwickelten sich in den undurchlässigen Schichten Moore. — Die vor der Rißeiszeit tiefsten Talrinnen wurden bis ins Alluvium hinein mit Schottern etwas angefüllt, in welche sich die Gewässer dann wieder einschnitten.

Wir sehen so, daß die heutige Bodengestaltung der Freiberge das Resultat verschiedener Vorgänge ist. In einer Faltungsphase im untern und einer weniger wichtigen im obern Pliocaen wurden die Faltenzüge geschaffen; dazwischen entstand die Rumpffläche, welche dann durch die von außen her wirkende Erosion an manchen Stellen zerstört wurde; erst später bildete sich die Karstlandschaft aus. Sie beide, Peneplain und Verkarstung sind es, die heute dem Hochplateau der Freiberge seinen besondern Charakter verleihen.

Literaturverzeichnis.

1. A. Amsler: Bemerkungen zur Juratektonik (Ecl. XX 1927, S. 1-30).
2. H. Baulig: Présentation de deux cartes morphologiques du Plateau Central de la France (C. R. Congrès Int. de Géogr. Paris 1931. Tome II, S. 424—433).
3. H. Baulig: Présentation d'une carte générale des anciennes surfaces d'aplanissement dans le Plateau Central de la France. (C. R. Congrès Int. de Géogr. Varsovie 1934. Tome II, S. 447—450).
4. E. Baumberger: Ueber Facies und Transgressionen der untern Kreide am Nordrand der mediterrano-helvetischen Bucht im westl. Jura. (Wissenschaftl. Beilage zum Bericht der Töchterschule in Basel 1900—1901).
5. E. Baumberger: Die Transgression des Vindoboniens in den Tertiärmulden von Moutier und Balsthal (Ecl. XVII 1923, S. 457—466).
6. E. Baumberger: Die stampischen Bildungen der Nordwestschweiz und ihrer Nachbargebiete (Ecl. XX 1927, S. 533—578).
7. E. Bell: Monographie de la vallée du Doubs entre Les Brenets et Biaufond (Bull. soc. neuch. de Géogr. XL 1931).
8. M. Birkhäuser: Geologie des Kettenjuras bei Undervelier (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XXXVI 1924/25, S. 233—297).
9. G. Braun: Zur Morphologie der Umgebung von Basel (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XXV 1914, S. 128—142).
10. R. Brill: Palaeogeographische Untersuchungen über das Pliocaen im Oberrheingebiet (Mitt. der bad. geolog. Landesanstalt X 1928/29, S. 241—425).
11. E. Brückner: Notice préliminaire sur la morphologie du Jura Suisse et Français (Arch. des Sciences phys. et nat. 4e période XIV 1902, S. 633—642).
12. A. Buxtorf: Geolog. Beschreibung des Weißensteintunnels (Beitr. zur geolog. Karte d. Schweiz N. F. XXI. Lief., 1908).
13. A. Buxtorf: Ueber den Gebirgsbau des Clos du Doubs und der Velleratkette im Berner Jura (Ber. Oberrhein. geolog. Verein, 42. Versammlung 1909, S. 74—85).
14. A. Buxtorf: Bericht über die Exkursion der Schweiz. Geolog. Gesellschaft ins Clos du Doubs (Ecl. XI 1910, S. 316—323).

15. A. Buxtorf: Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel und die Bedeutung der letztern für die Geologie des Juragebirges (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel, XXXVI 1924/25, S. 233—297).

16. A. Buxtorf: Das Längsprofil des schweizerisch-französischen Doubs zwischen dem Lac des Brenets und Soubey (Ecl. XVI 1922, S. 527—537).

17. A. Buxtorf und P. Christ: Wasserversorgung der Ortschaften im Jura zwischen Delsberg-Schelten-Tavannes-Saignelégier, 1915.

18. A. Buxtorf und H. Fröhlicher: Zur Frage des Zusammenhangs des subalpinen untern Stampienmeers mit dem Rheintalgraben (Ecl. XXVI 1933, S. 208).

19. A. Buxtorf und R. Koch: Zur Frage der Pliocaenbildungen im Nordschweizerischen Juragebirge (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XXXI 1920, S. 113—132).

20. A. Buxtorf und E. Lehner: Rheintalische Brüche im Clos du Doubs und in der Montterriblekette (Ecl. XVI. 1920, S. 71—75).

21. A. Buxtorf und E. Lehner: Ueber alte Doubsläufe zwischen Biaufond und Soubey (Ecl. XVI 1920, S. 75—79).

22. A. Buxtorf und E. Schlaich: Gliederung und Verbreitung des Miocaens in der Mulde von Court (Ecl. XXI 1928, S. 342—349).

23. G. Chabot: Les plateaux du Jura central. Etude morphogénique. 1927.

24. A. Cholley: Carte des surfaces d'aplanissement du Charolais et du Mâconnais (C. R. Congrès Int. de Géogr. Varsovie 1934, Tome II, S. 456—464).

25. W. M. Davis: Die erklärende Beschreibung der Landformen. 1912.

26. A. Delebecque: Jura et Vosges. Contribution à l'étude des terrains glaciaires des vallées du Doubs et de ses principaux affluents (Bull. service carte géol. de la France XVII 1905/06, S. 156-162).

27. R. Elber: Geologie der Raimeux- und der Velleratkette im Gebiete der Durchbruchstäler von Birs und Gabiare (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XXXII 1920/21, S. 38—93).

28. J. Favre: Description géol. des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds (Ecl. XI 1910, S. 369—476).

29. E. Fleury: Contributions nouvelles à la Spéléologie du Jura Bernois (Ecl. X 1909, S. 751—754).

30. E. Fleury: Un nouvel abîme à Fornet-dessus près de Lajoux (Ecl. XI 1910, S. 771—772).

31. R. Fluck: Die Flußdichte im Schweizerisch-französischen Jura. Diss. Basel 1925.

32. E. Fournier: Etude sur la tectonique du Jura franc-comtois (Bull. Soc. géol. de France 1901, S. 97—112).

33. E. Fournier: Nouvelles études tectoniques sur la Franche-Comté et sur la partie du Jura Bernois et Neuchâtelois limitrophe de la vallée du Doubs (Bull. service carte géol. de la France XXIV 1919/20, S. 129—148).

34. E. Fournier und A. Magnin: Recherches spéléologiques dans la chaîne du Jura (Mémoires Soc. de Spéléologie).

35. E. Forkert: Geologische Beschreibung des Kartengebietes Tramelan im Berner Jura (Ecl. XXVI 1933, S. 1—41).

36. J. Früh: Zur Kritik einiger Talformen und Talnamen der Schweiz (Vierteljahrschr. Nat. forsch. Ges. Zürich XLI 1896, S. 318-339).

37. J. Früh: Geographie der Schweiz. 1931—37.

38. J. Früh und C. Schröter: Die Moore der Schweiz (Beitr. zur geolog. Karte d. Schweiz, Geotechnische Serie III Lief. 1904).

39. Geologischer Führer der Schweiz 1934: (Artikel: Le Jura; die Molasse des Schweiz. Mittellandes und Juragebiets; Plateau der Freiberge).

40. H. Gerth: Fortschritte der geologischen Forschung im Schweiz. Juragebirge, bes. in dessen nördl. Hälfte (Geolog. Rundschau I 1910, S. 142—148).

41. A. Gibert: La Porte de Bourgogne et d'Alsace. 1931.

42. A. Glauser: Geologische Beschreibung des Kartengebietes von Bl. Montfaucon im Berner Jura (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XLVII 1936, S. 67—124).

43. J. B. Greppin: Description géol. du Jura Bernois (Matériaux pour la carte géol. de la Suisse, 8e livr.).

44. J. B. Greppin: Les sources du Jura Bernois. 1866.

45. A. Greßly: Observations géologiques sur le Jura Soleurois. 1841.

46. A. Grund: Der geographische Zyklus im Karst (Zeitschr. der Ges. f. Erdkunde Berlin 1914, S. 621—640).

47. A. Gutzwiller: Die Juranagelfluh des Laufenerbeckens (Ecl. 1910, S. 293—294).

48. Alb. Heim: Geologie der Schweiz. Bd. I. 1919.

49. Alb. Heim: Vermehrtes Licht in der Juraforschung (Actes S.N.G. 1915, S. 27—44).

50. Alb. Heim: Die horizontalen Transversalverschiebungen im Juragebirge (Vierteljahrschr. Nat. forsch. Ges. Zürich LX 1915, S. 597—610).

51. A. Hettner: Aus dem Schweizer Jura (Geograph. Zeitschrift XVIII 1912, S. 515—521).

52. K. L. Hummel: Die Tektonik des Elsgaus (Berichte Nat. forsch. Ges. Freiburg i. Br. XX 1914, S. 1—82).

53. D. Jaranoff: Zur Morphologie des Schweizer Jura (Zeitschrift für Geomorphologie IX 1935, S. 136—142).

54. F. Jenny: Das Birstal. Ein Beitrag zur Kenntnis der Talbildung im Faltengebirge. 1897.

55. W. Jenny: Geolog. Untersuchungen im Gebiete des Chasserals. Diss. 1924.

56. W. T. Keller: Geolog. Beschreibung des Kettenjuras zwischen Delsbergerbecken und Rheinebene (Ecl. XVII 1922, S. 1—78).

57. G. L. Kemmerling: Geolog. Beschreibung der Ketten von Vellerat und Moutier. Diss. 1911.

58. W. Kilian: Contribution à la connaissance de la Franche-Comté septentrionale. Les collines préjurassiennes et le Jura du Doubs (Annales de Géogr. III 1894, S. 319—345).

59. R. Koch: Geolog. Beschreibung des Beckens von Laufen (Beitr. zur geolog. Karte d. Schweiz, N. F. 48 2. Teil, 1923).

60. F. Lang: Ueber die 2 Tunnels zwischen Pruntrut und Delsberg (Verh. S.N.G. Versammlung Schaffhausen 1873, S. 91—94).

61. A. de Lapparent: Leçons de Géographie physique. 1896.

62. H. Liniger: Geologie des Delsbergerbeckens und der Umgebung von Movelier (Beitr. z. geol. Kart. d. Schw. N. F. 55. 1925).

63. H. Liniger: Die Gitterfaltung im Berner Jura (Ecl. XIX 1926, S. 625—629).

64. H. Liniger und A. Werenfels: Tektonik der Umgebung von Asuel und St. Ursanne (Ecl. XX 1926, S. 289—295).

65. F. Machatschek: Der Schweizer Jura. Versuch einer geomorphologischen Monographie (Petermanns Geogr. Mitt. Ergänzungsheft No. 150. 1905).

66. E. de Margerie: Le Jura. 1922. (Bibliographie).

67. L. Nicolet: Les tourbières de la Chaux d'Abel et des Pontins (Actes Soc. jur. d'Emulation XXI 1916, S. 68—75).

68. F. Nußbaum: Ueber die Fortschritte der morphologischen Erforschung der Schweiz in neuer Zeit (Zeitschr. d. Ges. für Erdkunde Berlin 1914, S. 745—771).

69. F. Nußbaum und F. Gygax: Zur Ausdehnung des rißeiszeitlichen Rhonegletschers im französisch-schweizerischen Jura (Ecl. XXVIII 1935, S. 659—665).

70. W. Oertel: Stratigraphie und Tektonik der Gegend von St. Brais und Saulcy (Neues Jahrbuch für Mineralogie, Beilageband XXXVI 1913, S. 42—81).

71. A. Penck und E. Brückner: Die Alpen im Eiszeitalter. 1909.

72. Th. Raven: Ueber die Ursache der Bildung der Transversalverschiebungen im Jura (Ecl. XXVI 1933).

73. L. Rollier: Etudes stratigraphiques sur les terrains tertiaires du Jura Bernois (Arch. des sciences phys. et nat. Bd. XXVII, XXX, 1892, 1893).

74. L. Rollier: Structure et histoire géol. de la partie du Jura central comprise entre le Doubs, le val de Delémont, le lac de Neuchâtel et le Weißenstein. (Matériaux pour la carte géol. de la Suisse 8e livr. 1er suppl. 1893).

75. L. Rollier: Zur Kenntnis der tertiären Süßwasserkalke (Neues Jahrbuch für Mineralogie 1897, S. 212—216).

76. L. Rollier: 2e supplément à la description géol. de la partie jurassienne de la feuille VII 1:100 000 (Mat. pour la carte géol. de la Suisse N. F. 8 livr.).

77. L. Rollier: Le plissement de la chaîne du Jura (Annales de Géographie XII 1903, S. 403—410).

78. L. Rollier: La poche sidérolithique du Fuet (Jura Bernois) contient un lambeau de néocomien fossilifère (Bull. Soc. sciences nat. Neuch. XXXII 1903/04, S. 147—153).

79. L. Rollier: 3e supplément à la description géol. de la partie jurassienne de la feuille VII 1:100 000 (Mat. pour la carte géol. de la Suisse N. F. 25 livr. 1910).

80. L. Rollier: Nouvelles études sur les terrains tertiaires et quaternaires du Haut-Jura (Actes Soc. jur. d'Emulation 1910, S. 85—129).

81. L. Rollier: Revision de la stratigraphie et de la tectonique de la molasse au Nord des Alpes etc. (Nouv. mémoires S. N. G. Vol. 46. 1911.)

82. W. Rothpletz: Geolog. Beschreibung der Umgebung von Tavannes (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XLIII 1932, S. 12—150).

83. E. Schaad: Die Juranagelfluh. (Beitr. z. geol. Kart. d. Schw. N. F. 22. Lief. 1908.)

84. H. Schardt: Mélanges géol. sur le Jura Neuchâtelois et les régions limitrophes. 1903.

85. H. Schardt: Ueber Färbungsversuche mit Fluorescëin an unterirdischen Wässern (Ecl. XI 1909, S. 271—275).

86. E. Schlaich: Geolog. Beschreibung der Gegend von Court im Berner Jura mit bes. Berücksichtigung der Molassebildungen (Beitr. z. geolog. Karte d. Schw. N. F. 26 Lief. 1934).

87. P. Schlee: Zur Morphologie des Berner Jura (Mitt. Geograph. Ges. Hamburg XXVII 1913, S. 79—118).

88. C. Schmidt: Ueber tertiäre Süßwasserkalke im westl. Jura (Centralblatt für Mineralogie 1904, S. 609—622).

89. F. Schuh: Geolog. Beschreibung der Gegend von Saignelégier und Les Pommerats (Zeitschr. Deutsche Geolog. Ges. LXVI 1914, S. 34—75).

90. W. Schürer: Geolog. Aufnahmen des Jura- und Molassegebietes zwischen Dotzigen und Tavannes. Diss. 1928.

91. J. Siegfried: Der Schweizerische Jura. 1851.

92. G. Steinmann: Bemerkungen über die tektonischen Beziehungen der Rheinebene zum nordschweizerischen Kettenjura (Berichte Nat. forsch. Ges. Freiburg i. Br. VI 1892, S. 150—159).

93. H. Suter: Geolog. Untersuchungen in der Umgebung von Les Convers—Vue des Alpes. Diss. 1920.

94. H. Suter: Geolog. Beschreibung der Kartengebiete Les Bois und St. Imier im Berner Jura (Beitr. z. geol. K. d. Schw. N. F. 72. Lief. 1936).

95. J. Thurmann: Esquisses orographiques de la chaîne du Jura. 1852.

96. A. Tobler: Der Jura im SE der Rheinebene (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XI 1896, S. 284—369).

97. A. Vézian: Le Jura franc-comtois. 1872.

98. H. Vogel: Geologie des Graitery und des Grenchenberges im Juragebirge (Beitr. z. geol. K. d. Schw. N. F. 26 Lief. 1934).

99. P. Vosseler: Morphologie des Aargauer Tafeljura (Verh. Nat. forsch. Ges. Basel XXIX 1918, S. 214—270).

100. L. van Werveke: Die Tektonik des Sundgaus und ihre Beziehungen zur Tektonik der angrenzenden Teile des Juragebietes (Mitt. Geol. Landesanstalt Els. Lothr. VI 1908, S. 320—339).

101. L. van Werveke: Verwerfungen im oberelsässischen Juragebirge (Mitt. Philomath. Ges. Els. Lothr. IV 1909, S. 219).

102. L. van Werveke: Der Verlauf der Hauptverwerfungen auf der Westseite des Rheintalgrabens und ihre Fortsetzungen auf französischem und schweizerischem Gebiet (Mitt. Geolog. Landesanstalt Els. Lothr. X 1916, S. 115—137).

KARTEN:

Siegfriedatlas: Blätter: 90, 91, 100, 101, 102, 103, 104. 105. 114, 115, 116, 117, 118, 119.

Uebersichtspläne 1:10 000: Bl. St. Ursanne, Undervelier, Tavannes.

Spezialkarte des Jura 1:50 000. Blatt I und II.

Geologische Karte der Schweiz 1:100 000, Blatt VII (Porrentruy—Solothurn).

L. Rollier: Carte géologique des environs de St. Imier. 1:25 000. 1894.

L. Rollier: Carte tectonique des environs de Bellelay. 1:25 000. 1901.

L. Rollier et J. Favre: Carte géologique des environs du Locle et de La Chaux-de-Fonds. 1:25 000. 1910.

Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 92—95: Movelier—Soyhières—Delémont—Courrendlin.

P. Fallot: Carte géologique de la région de St. Hippolyte. 1:30 000.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort 1
Einleitung 2
Problemstellung 7

I. Geologie 10
a) Stratigraphie 11
b) Tektonik 19

II. Die Rumpffläche 24
A. Die Einebnungsfläche der Freiberge 24
1. Das Gebiet der Velleratkette zwischen Les Sairins und Les Pommerats 24
2. Das Gebiet der Raimeuxkette zwischen Lajoux und Le Noirmont 30
3. Das Gebiet der Pâturattekette zwischen dem Petit Val und Le Roselet 34
4. Das Gebiet der Les Placeskette und der Muldenzone von Le Cernil-La Chaux 39
5. Die westlichen Freiberge 43
6. Die Sonnenbergkette 50
B. Reste der Einebnungsfläche in dem unmittelbar östlich der Freiberge liegenden Gebiet der hohen Juraketten 51
1. Die Montoz- und Moronkette im Bereich der Kartenblätter Sonceboz und Tavannes 52
2. Die Raimeux- und Velleratkette im Bereich des Kartenblattes Undervelier 53
3. Das Gebiet von St. Brais und die Caquerellekette . . . 56
4. Das Clos du Doubs 61
C. Die Entstehung der Rumpffläche 62
D. Das Alter der Rumpffläche 73
E. Die Anlage des heutigen Gewässernetzes 80

III. Die Ausräumungen 86
A. Ausräumungen durch oberirdische Entwässerung 87
1. Die Ausräumungslandschaften der Birszuflüsse 87
a) Das Tal des Tabeillon 87
b) Das Tal Combe des Beusses-Undervelier 93
c) Das Sornetal 96
d) Das Trametal 99
2. Das Ausräumungsgebiet des Doubs 102

B. Die Verkarstung der Freiberge und die Karstausräumungen 112
1. Karren 114
2. Dolinen 115
3. Poljen 117
4. Unterirdische Entwässerungswege 118
C. Die Veränderungen seit der Rißeiszeit 121
1. Die Einwirkungen des jüngern Diluviums auf die Hochfläche der Freiberge 121
2. Die Einwirkungen des jüngern Diluviums in den an die Freiberge grenzenden Tälern 122
Schlußbetrachtung 124
Literaturverzeichnis 128

Verzeichnis der Tafeln.

Tafel 1: Geologische Karte der Freiberge.
Tafel 2a: Karte der Verbreitung des Tertiärs in den Freibergen.
Tafel 2b: Die Freiberge seit der Rißeiszeit.
Tafel 3: Strukturkarte der Freiberge auf Grund der Höhenlage der Auflägerungsfläche des Kimeridge.
Tafel 4: Profile durch die Freiberge.
Tafel 5: Morphologische Karte der Freiberge.
Tafel 6: Isohypsenkarte der Peneplain der Freiberge.
Tafel 7: Längsprofile der Täler in der Umgebung der Freiberge.

Curriculum vitae.

Am 19. Dezember 1914 wurde ich, Erich Schwabe von Basel, als Sohn des Dr. Rudolf Schwabe, Verleger, und der Ella geb. Winter in Basel geboren. In meiner Heimatstadt besuchte ich Primarschule und Humanistisches Gymnasium und schloß meine Schulzeit im Frühjahr 1933 mit der Maturitätsprüfung ab. Darauf studierte ich an der Universität Basel Naturwissenschaften.

Die vorliegende Arbeit entstand unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. P. Vosseler im Geographischen Institut der Universität in den Jahren 1936 bis 1938.

Während meiner Studien genoß ich den Unterricht folgender Herren:

Prof. E. Bonjour, Prof. F. Bürki, Prof. A. Buxtorf, Prof. J. Cadisch, Prof. F. Fichter, Prof. P. Ganz, Dr. M. Geiger, Prof. R. Geigy, Prof. A. Hagenbach, Prof. E. Handschin, Dr. E. Hediger, Prof. F. Jaeger, Prof. F. Mangold, Prof. A. Portmann, Dr. M. Reichel, Prof. M. Reinhard, Dr. A. Rittmann, Prof. H. Rupe, Prof. G. Senn, Prof. W. Vischer, Dr. L. Vonderschmitt, Prof. P. Vosseler.

Basel, den 7. Juli 1938.